

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAELLA DE ANGELI CURTO

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E POTENCIAL DE MANEJO EM PLANTIO
SUPERESTOCADO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

CURITIBA
2015

RAFAELLA DE ANGELI CURTO

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E POTENCIAL DE MANEJO EM PLANTIO
SUPERESTOCADO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto
Coorientadores: Dra. Patrícia Póvoa de Mattos
Dr. Evaldo Muñoz Braz

CURITIBA
2015

Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR
Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Curto, Rafaella de Angeli

Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze./ Rafaella de Angeli Curto. – 2015
250 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

Coorientadores: Dra. Patrícia Póvoa de Mattos, Dr. Evaldo Muñoz Braz

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 24/02/2015.

Área de concentração: Manejo Florestal

1. Manejo florestal. 2. Pinheiro-do-paraná. 3. Árvores – Crescimento. 4. Desbastes florestais. 5. Competição (Biologia). 6. Teses. I. Péllico Netto, Sylvio. II. Mattos, Patrícia Póvoa de. III. Braz, Evaldo Muñoz. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.


CDD – 634.9

CDU – 634.0.56

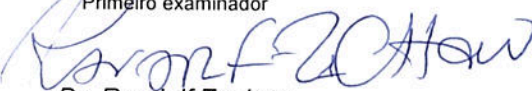
PARECER

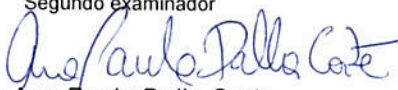
Defesa nº. 1090

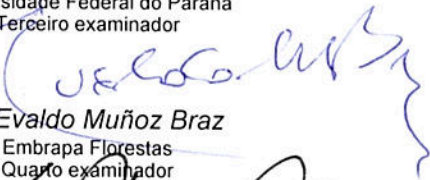
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) doutorando(a) *Rafaella De Angeli Curto* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E POTENCIAL DE MANEJO EM PLANTIO SUPERESTOCADO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.

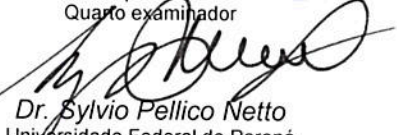

Dr. César Augusto Guimarães Finger

Universidade Federal de Santa Maria
Primeiro examinador


Dr. Randolph Zachow
Serviço Florestal Brasileiro
Segundo examinador


Dr. Ana Paula Dalla Corte
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador


Dr. Evaldo Muñoz Braz
Embrapa Florestas
Quarto examinador


Dr. Sylvio Pellico Netto
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 24 de fevereiro de 2015.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade de mais uma conquista, por me guiar e orientar em todas as etapas da minha caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto, por possibilitar a realização deste trabalho, pela oportunidade de crescimento e pela confiança em mim depositada.

Aos meus coorientadores Dra. Patrícia Póvoa de Mattos e Dr. Evaldo Muñoz Braz, e também ao engenheiro florestal Dr. Randolph Zachow, que desde o primeiro contato, idealizaram e se dedicaram para que este trabalho pudesse se tornar realidade. Obrigada, a vocês, pelo exemplo de profissionais dedicados, pela convivência, paciência, amizade, valiosos e constantes ensinamentos, pela prontidão em ajudar e por acreditarem no meu trabalho. Minha eterna gratidão!

A Universidade Federal do Paraná, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade concedida e, aos professores pelos preciosos ensinamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - (CAPES) e ao Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), pela concessão de bolsa de estudos.

À gestão da Floresta Nacional de Açungui, pela disponibilidade da área do estudo, aos engenheiros Walter Steenbock e Maria Carolina Portes pelos esforços dispendidos e confiança para a realização deste trabalho. Aos funcionários, seu João, pelo seu exemplo de superação e pelas inúmeras e valiosas ajudas nos trabalhos de campo e, a Márcia pelos cafezinhos depois de um dia exaustivo de trabalho.

Ao querido técnico Jonatas Gueller, meu braço direito em cada uma das etapas de campo deste trabalho. Obrigada pelas conversas, conselhos e, por estar sempre pronto a ajudar, buscando soluções e dedicando-se sempre com muito bom humor, carinho e boa vontade.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade e contribuição para o enriquecimento deste trabalho. Aos professores Dr. César Augusto Guimarães Finger, Dra. Ana Paula Dalla Corte e Dr. Afonso Figueiredo Filho pela atenção e contribuições, sempre que solicitados.

Aos meus pais, pela educação. Em especial ao meu pai, Orildo José Curto, por sempre me apoiar e valorizar minhas escolhas. As minhas irmãs, Gisella e Gabriella, pelo apoio e amor incondicional. Ao meu sobrinho João Gabriel, que nasceu junto com meu ingresso no doutorado, e que devido a distância, no princípio não era capaz de me reconhecer, mas que sempre, só com sorrisos renova as minhas forças. Aos demais familiares, pelo carinho. Obrigada por compreenderem a minha ausência.

As companheiras do Laboratório de Dendrocronologia e Manejo da Embrapa Florestas, Ana Cláudia da Silveira, Andréia Taborda, Mariana Ferraz, Maíra Macedo, pela prazerosa convivência, em especial a Aline Canetti, pela amizade, parceria e incentivo diário. Aos demais estagiários que também por lá passaram e aos que contribuíram na coleta dos dados, Tiago Kretzer e Romell Ribeiro.

Ao laboratório de Manejo de Florestas Nativas, que me permitiu encontrar pessoas especiais, com as quais pude conviver e desfrutar de momentos prazerosos de aprendizagem: Allan Pelissari, Ângelo Ebling, Luan Fiorentin e Rodrigo Otávio de Miranda. Em especial ao querido Emanuel Araújo, pelo apoio, paciência, dedicação, compreensão, suporte emocional, e por todo carinho.

Aos amigos que “trouxe comigo”, Pompeu Guimarães e Rafael Braz e, também aos que vieram depois, Hassan David, Pedro Lício e Rafael Andrade, muito obrigada pelos momentos de distração e pela amizade. Em especial ao Paulo André Trazzi, irmão de coração, pela convivência prazerosa, alegria e ensinamentos ao longo destes 10 anos, e ao Rômulo Môra, grande amigo, sempre dedicado, pela paciência nos ensinamentos estatísticos e parceria, desde a época da graduação. Obrigada por serem amigos tão presentes e dedicados.

Aos queridos amigos que fiz em Curitiba, Andrea Cusatis e Mário Dobner, pelos encontros, trocas de ideias e incentivo a novas experiências, aos que compartilharam conversas, experiências e momentos de alegria: Aurélio Rodrigues, Dagma Kratz, Jaçanan Milani, Manoela Duarte, Sintia Kohler, Tomaz Longhi, e as sempre especiais amigas Ana Paula Donicht e Gabrielle Loureiro que sempre estiveram ao meu lado, compartilhando momentos felizes e tornando os momentos difíceis em uma caminhada mais prazerosa.

Ao motosserrista Moacir Taverna e seu ajudante “Mané” (Eliseu Lourenço) pelo esforço dispendido, e brilhante trabalho em campo. A Tiélidy de Lima (Embrapa Florestas) e a Eliane (UFPR) pelas contribuições nas análises laboratoriais. Aos demais funcionários da Embrapa Florestas e da Universidade Federal do Paraná, que exerceram suas funções, ou além disso e, que prestaram serviços contribuindo no desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço também aos que contribuíram de alguma forma, mesmo que indiretamente, para a realização deste trabalho, mesmo que aqui não estejam citados. Obrigada pelos momentos de incentivo, carinho, dedicação, momentos felizes e não tão felizes, mas que foram verdadeiras lições de vida, de perseverança, de compreensão, tolerância e paciência e que fizeram parte do meu crescimento.

Obrigada a todos que acreditaram em mim e que se sentem felizes com mais esta conquista em minha vida.

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO E POTENCIAL DE MANEJO EM PLANTIO SUPERESTOCADO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo caracterizar o crescimento e a influência da competição em um plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* estabelecido em 1946, na Floresta Nacional do Açungui, Campo Largo, PR. Foram demarcadas 46 unidades amostrais, tendo como centro uma árvore objetivo, representando classes de diâmetro atual variando de 10 a 70 cm. Foram consideradas árvores competidoras aquelas cujas copas estavam em contato com a copa da objetivo. O raio entre o centro de cada unidade e da sua competidora mais distante foi utilizado para determinar a área da unidade amostral. Obteve-se a densidade máxima de árvores.ha⁻¹ com base na área de projeção de copa. As árvores objetivo foram derrubadas e cubadas, sendo coletadas amostras para análise de tronco. De 3 árvores de cada classe foram coletadas amostras para avaliação da massa específica da madeira. De cada competidora foram retiradas duas amostras não destrutivas (SISBIO 35355-1). Foram ajustados modelos de crescimento em diâmetro e volume sob diferentes condições de competição. Para a análise retrospectiva foram utilizados índices de competição dependente e independente da distância. A análise da área de projeção de copa confirmou que o povoamento está superestocado, o que reflete em baixo incremento volumétrico (6,7 m³.ha⁻¹.ano⁻¹). Foi verificada diferenciação do padrão de crescimento da árvore e da massa específica ao longo do fuste, influenciados pela competição e pelo desbaste. Muitas árvores apresentavam crescimento semelhante até aos 20 anos, sugerindo que um desbaste poderia ter sido bem sucedido se realizado até aquele período. Índices de competição indicaram alterações do crescimento, sendo que a análise retrospectiva com base nas árvores vizinhas descreve boa parte do crescimento. São apresentadas alternativas para a condução do povoamento atual, aplicando-se estratégias de manejo voltadas para finalidades distintas, seja para restauração da área em floresta natural ou condução de florestas de produção. Ressalta-se que, em função da aptidão florestal da área, recomenda-se a manutenção da cobertura florestal. A quantidade atual de árvores do povoamento indica um desbaste imediato mínimo de 30%, tomando-se cuidado para manter a distribuição espacial e evitar grandes clareiras com solo exposto. Em caso de conversão em floresta natural deve-se dar sequência ao planejamento com a retirada de espécies exóticas presentes na área. Aliado a isso, sugere-se o monitoramento da área destinada à restauração florestal para comparação com novos plantios de *Araucaria angustifolia* na Floresta Nacional de Açungui, fortalecendo a base de informação essencial ao manejo de plantios futuros.

Palavras-chave: competição, estagnação do crescimento, desbaste.

EVALUATION OF GROWTH AND MANAGEMENT POTENCIAL OF AN OVERSTOCKED PLANTATION OF *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

ABSTRACT

This study aimed to characterize the growth and influence of competition in an overstocked plantation of *Araucaria angustifolia* established in 1946, in the National Forest Açungui, Campo Largo, Parana State, Brazil. Forty-six sample units were delimited, and had an objective tree as the unit center. Objective trees were selected to represent diameter class from 10 to 70 cm. A tree was considered competitor when its crown was in contact with the objective tree crown. The distance between the center of each sample unit and its distal competitor was used to determine the area of the sampling unit. The maximum density of trees.ha⁻¹ was obtained based on the crown projection area. The main trees were felled down and cubed, and samples were collected for stem analysis. Two non-destructive samples were also collected from each competitor (SISBIO 35355-1). Diameter and volume growth models were adjusted under different competition conditions. Dependent and independent of distance competition indexes were used for retrospective analysis. The analysis of crown projection area confirmed that the plantation is overstocked, which reflects in low volumetric increment (6.2 m³.ha⁻¹.year⁻¹). It was verified differentiation of growth pattern and wood density along the stem, influenced by competition and thinning. Many trees presented similar growth until 20 years suggesting that thinning could have been successful in that period. Competition indexes indicated changes in growth, and the retrospective analysis based on neighboring trees describes most of the growth. Alternatives to manage the current population are presented, applying management strategies for different purposes, as to restore the area in natural forest or for production forest. It is highlighted that due to the forest vocation of the area, it is recommended to maintain the forest. The current number of trees in the area indicates a minimum initial thinning of 30%, but it must be also considered the spatial distribution and caution to avoid large clearing with exposed soil. Exotic species present in the area should be removed, if the area will be converted into a natural forest. Moreover, it is suggested the monitoring of the area destined to forest restauration, to be compared to new *Araucaria angustifolia* plantation in Floresta Nacional de Açungui, strengthening the base of information that is essential to the management of future plantations.

Keywords: competition, growth stagnation, thinning.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CURVAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO	49
---	----

CAPÍTULO I

FIGURA 1.1 - LOCALIZAÇÃO DA FLONA DE AÇUNGUI, COM DESTAQUE PARA OS TALHÕES EM ESTUDO	67
FIGURA 1.2 - DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES OBJETO NOS TALHÕES EM ESTUDO	69
FIGURA 1.3 - PROCEDIMENTO DE INCLUSÃO DE ÁRVORES	70
FIGURA 1.4 - SOBREPOSIÇÃO DE ZONA DE INFLUÊNCIA	77
FIGURA 1.5 - RELAÇÃO ENTRE DIÂMETRO À 1,30 m DE ALTURA DO SOLO (dap) E O GRAU DE ESBELTEZ	79
FIGURA 1.6 - RELAÇÃO ENTRE DIÂMETRO À 1,30 m DE ALTURA DO SOLO (dap) E O DIÂMETRO DE COPA	80
FIGURA 1.7 - COMPARATIVO DA RELAÇÃO ENTRE O DIÂMETRO À 1,30 m DE ALTURA DO SOLO (dap) E O DIÂMETRO DE COPA (dc) OBTIDA POR DIFERENTES AUTORES	81
FIGURA 1.8 - RELAÇÃO ENTRE DIÂMETRO À 1,30 m DE ALTURA DO SOLO (dap) E O DIÂMETRO DE COPA PARA ÁRVORES LIVRES DE COMPETIÇÃO	86
FIGURA 1.9 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO INDEPENDENTES DA DISTÂNCIA	89
FIGURA 1.10 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO DEPENDENTES DA DISTÂNCIA	95
FIGURA 1.11 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO DEPENDENTES DA DISTÂNCIA COM INFLUÊNCIA DE ÁREA DE COPA	97
FIGURA 1.12 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO DEPENDENTES DA DISTÂNCIA COM INFLUÊNCIA DE ÁREA DE SOBREPOSIÇÃO COPA	99

CAPÍTULO II

FIGURA 2.1 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS EM CLASSES DIAMÉTRICAS PARA <i>Araucaria angustifolia</i>	125
FIGURA 2.2 - CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA ESTIMADAS SOBRE O HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIAS OBSERVADAS ACUMULADAS (A) E FREQUÊNCIAS OBSERVADAS ABSOLUTAS (B)	129
FIGURA 2.3 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA ESTIMATIVA DA ALTURA DO FUSTE E COMERCIAL PARA O MODELO DE RELAÇÃO HIPSONOMÉTRICA DE TROREY	131
FIGURA 2.4 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS POR CLASSES DE DAP E GERAL DAS VARIÁVEIS ESTIMADAS: VOLUME COMERCIAL (A) E VOLUME TOTAL DO FUSTE (B) COM MODELOS VOLUMÉTRICOS; DIÂMETRO (C) E VOLUME AO LONGO DO FUSTE (D), VOLUME COMERCIAL (E) E VOLUME TOTAL DO FUSTE (F)	135
FIGURA 2.5 - VOLUME DE MADEIRA.HA ⁻¹ EM CLASSES DIAMÉTRICAS PARA <i>Araucaria angustifolia</i> COM BASE NA DISTRIBUIÇÃO REAL DO POVOAMENTO (A) E ESTIMADO COM A FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DE WEIBULL-3P (B)	138

CAPÍTULO III

FIGURA 3.1 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA A EQUAÇÃO AJUSTADA PARA OBTENÇÃO DO DIÂMETRO COM CASCA	158
FIGURA 3.2 - MÉDIA DO INCREMENTO DIAMÉTRICO NOS ÚLTIMOS 10 ANOS (REAL), E QUANDO SE CONSIDERA O ÚLTIMO ANEL FORMADO A 1,30 m DE ALTURA DO SOLO COMO O INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL DA ÁRVORE (SEM DATAÇÃO) PARA DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL	162
FIGURA 3.3 - PERFIL DO TRONCO DE <i>Araucaria angustifolia</i> AO LONGO DO TEMPO PARA AS CLASSES DE DIÂMETRO 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm) E 3 (50-70 cm)	166
FIGURA 3.4 - POSICIONAMENTO DAS ÁRVORES DE <i>Araucaria angustifolia</i> DE ACORDO COM O DAP ACUMULADO AO LONGO DO TEMPO PARA AS CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm) E 3 (50-70 cm)	171

CAPÍTULO IV

FIGURA 4.1 - SECCIONAMENTO DO FUSTE PARA A OBTENÇÃO DOS DISCOS E AMOSTRAS PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA AO LONGO DO FUSTE E NO SENTIDO MEDULA CASCA	185
---	-----

CAPÍTULO V

FIGURA 5.1 - INCREMENTO MÉDIO POR CLASSE DIAMÉTRICA DO POVOAMENTO NAS DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL	213
FIGURA 5.2 - DINÂMICA DO INCREMENTO MÉDIO DE ÁRVORES DAS CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL, DENTRO DE CADA CLASSE DIAMÉTRICA	214
FIGURA 5.3 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA O MODELO DE SCHUMACHER AJUSTADO PARA O CRESCIMENTO EM DIÂMETRO NAS CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL: 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm), 3 (50-70 cm) REGENERAÇÃO (10-30 cm) E PARA TODAS AS CLASSES	218
FIGURA 5.4 - CURVAS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO ESTIMADAS PELA EQUAÇÃO DE SCHUMACHER NAS CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL: 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm), 3 (50-70 cm), REGENERAÇÃO (10-30 cm) E PARA TODAS AS CLASSES.....	219
FIGURA 5.5 - CURVAS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO ESTIMADAS PELA EQUAÇÃO DE SCHUMACHER PARA AS CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL: 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm), 3 (50-70 cm) AOS 10 ANOS (A) E AOS 20 ANOS (B) DE IDADE DO POVOAMENTO	221
FIGURA 5.6 - TEMPO DE PASSAGEM ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS.....	222
FIGURA 5.7 - CURVAS DE CRESCIMENTO EM VOLUME (m ³) (A) E DE INCREMENTO (B) PARA CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL: 1 (10- 30 cm), 2 (30-50 cm), 3 (50-70 cm)	223
FIGURA 5.8 - EVOLUÇÃO DA COMPETIÇÃO ENTRE ÁRVORES EM DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL: 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm), 3 (50- 70 cm).....	226

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

TABELA 1.1 - INFORMAÇÕES SOBRE A ÁREA DE ESTUDO	68
TABELA 1.2 - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO AVALIADOS	74
TABELA 1.3 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E MORFOMÉTRICAS DE <i>Araucaria angustifolia</i> SOB COMPETIÇÃO	78
TABELA 1.4 - EQUAÇÕES PARA ESTIMAR A RELAÇÃO ENTRE O DIÂMETRO À 1,30 m DE ALTURA DO SOLO (dap) E O DIÂMETRO DE COPA (dc) de <i>Araucaria angustifolia</i>	81
TABELA 1.5 - NÚMERO DE ÁRVORES.HA ⁻¹ COM BASE NA OCUPAÇÃO DE ÁREA DE COPA, E PONTO DE TRANSIÇÃO ENTRE COPAS LIVRES E EM INÍCIO DE COMPETIÇÃO	83
TABELA 1.6 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA DESCREVER OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO	87
TABELA 1.7 - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO SELECIONADOS	100

CAPÍTULO II

TABELA 2.1 - FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE E SUAS CONDICIONANTES.....	119
TABELA 2.2 - MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, MODELOS DE VOLUME E DE AFILAMENTO	121
TABELA 2.3 - ESTATÍSTICAS USADAS PARA AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS PARCIAIS DE DIÂMETRO E VOLUMES	123
TABELA 2.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS LINEARES	124
TABELA 2.5 - TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TESTADAS, E SEUS RESPECTIVOS PARÂMETROS AJUSTADOS.....	128
TABELA 2.6 - EQUAÇÕES SELECIONADAS E ESTATÍSTICAS PARA ESTIMAR A ALTURA DO FUSTE E COMERCIAL.....	131

TABELA 2.7 - VALORES DAS ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DE CADA EQUAÇÃO SELECIONADA, PARA OS DADOS POR CLASSE DE DIÂMETRO E GERAL.....	133
TABELA 2.8 - ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES, POR CLASSE DE DIÂMETRO E GERAL, PARA ESTIMAR O DIÂMETRO E VOLUME AO LONGO DO FUSTE, VOLUME COMERCIAL E VOLUME TOTAL DO FUSTE...	134
TABELA 2.9 - TESTE DE IDENTIDADE ENTRE MODELOS.....	137

CAPÍTULO III

TABELA 3.1 - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO UTILIZADOS PARA AVALIAR A FORMAÇÃO DE ANÉIS DE CRESCIMENTO EM ÁRVORES DE <i>Araucaria angustifolia</i> COM 65 ANOS EM CONDIÇÕES DE COMPETIÇÃO.....	154
TABELA 3.2 - DIVISÃO EM CLASSE DE DIÂMETRO ATUAL.....	157
TABELA 3.3 - MÉDIA DE VARIÁVEIS POR GRUPOS CLASSIFICADOS DE ACORDO COM A FREQUÊNCIA DE ANÉIS AUSENTES NO DISCO A 1,30 m DE ALTURA DO SOLO.....	159
TABELA 3.4 - MÉDIA DE VARIÁVEIS RELACIONADAS A ÁRVORES COMPETIDORAS POR GRUPOS CLASSIFICADOS DE ACORDO COM A QUANTIDADE DE ANÉIS AUSENTES NA ALTURA DE 1,30 m DE ALTURA DO SOLO.....	160

CAPÍTULO IV

TABELA 4.1 - VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA NA DIREÇÃO LONGITUDINAL DE FUSTES DE <i>Araucaria angustifolia</i>	188
TABELA 4.2 - VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA NAS DIREÇÕES RADIAL E LONGITUDINAL DO FUSTE DE <i>Araucaria angustifolia</i>	192

CAPÍTULO V

TABELA 5.1 - MODELOS DE CRESCIMENTO TESTADOS	209
TABELA 5.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS LINEARES	210
TABELA 5.3 - INCREMENTO MÉDIO ANUAL PARA DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL.....	215
TABELA 5.4 - PARÂMETROS E ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA ESTIMAR O CRESCIMENTO EM DIÂMETRO.....	217
TABELA 5.5 - TESTE DE IDENTIDADE ENTRE MODELOS DE CRESCIMENTO	219
TABELA 5.6 - TESTE DE IDENTIDADE ENTRE MODELOS DE CRESCIMENTO PARA O POVOAMENTO AOS 10 E 20 ANOS DE IDADE	220
TABELA 5.7 - PARÂMETROS E ESTATÍSTICAS PARA ESTIMAR O CRESCIMENTO EM VOLUME DE <i>Araucaria angustifolia</i>	223
TABELA 5.8 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS INCREMENTOS PARA DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL E OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO	225

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	19
2 OBJETIVOS	22
2.1 OBJETIVO GERAL	22
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3 REVISÃO DE LITERATURA	23
3.1 <i>Araucaria angustifolia</i> (CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE)	23
3.2 <i>Araucaria angustifolia</i> NO PARANÁ (HISTÓRICO, EXPLORAÇÃO E REFLORESTAMENTO)	27
3.3 COMPETIÇÃO	29
3.4 MORFOMETRIA	31
3.5 DENSIDADE POPULACIONAL	34
3.6 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO	36
3.7 FORMAÇÃO E IMPORTÂNCIA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO	38
3.8 DENDROCRONOLOGIA	40
3.9 EFEITO DA COMPETIÇÃO E DO DESBASTE NA QUALIDADE DA MADEIRA	41
3.10 DISTRIBUIÇÃO DO INCREMENTO SOBRE O FUSTE	46
3.11 CRESCIMENTO	47
3.12 MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE ÁRVORES	49
REFERÊNCIAS	52

CAPÍTULO I

COMPETIÇÃO EM POVOAMENTO SUPERESTOCADO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

RESUMO	61
ABSTRACT	62
1 INTRODUÇÃO	63
2 MATERIAIS E MÉTODOS	66
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	66
2.2 COLETA DE DADOS	68
2.2.1 Variáveis dendrométricas mensuradas	71

2.2.2 Variáveis morfométricas calculadas.....	72
2.3 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO	73
2.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA DE ÁRVORES.....	73
2.5 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO.....	73
2.5.1 Avaliação dos índices de competição	77
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO POVOAMENTO	78
3.2 QUANTIFICAÇÃO DA COMPETIÇÃO	78
3.2.1 Análise de correlação das variáveis dendrométricas e morfométricas	78
3.2.2 Determinação da densidade máxima de árvores por hectare com base na projeção de copa	82
3.2.3 Copas livres de competição	85
3.2.4 Avaliação dos índices de competição	86
3.2.5 Considerações sobre os índices de competição	100
4 CONCLUSÕES.....	106
5 RECOMENDAÇÕES	107
REFERÊNCIAS	108

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA E DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE MADEIREIRO EM PLANTIO SUPERESTOCADO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

RESUMO	114
ABSTRACT	115
1 INTRODUÇÃO.....	116
2 MATERIAL E MÉTODOS	118
2.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS	118
2.2 DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DIAMÉTRICA E AJUSTE DE FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE	119
2.3 MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, VOLUME E AFILAMENTO	120
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	125
3.1 FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE AJUSTADAS	128
3.2 AJUSTE E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA	130

3.3 AJUSTE E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE MODELOS VOLUMÉTRICOS E DE AFILAMENTO.....	132
3.4 QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME POR HECTARE.....	138
4 CONCLUSÕES.....	140
5 RECOMENDAÇÕES	140
REFERÊNCIAS	141

CAPÍTULO III

DISTRIBUIÇÃO DO INCREMENTO AO LONGO DO FUSTE DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. EM PLANTIO SUPERESTOCADO

RESUMO	147
ABSTRACT	148
1 INTRODUÇÃO	149
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	151
2.1 ÁREA DE ESTUDO	151
2.2 COLETA DE DADOS	151
2.3 PREPARO DE AMOSTRAS E MEDIÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO..	152
2.4 ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA.....	152
2.5 EFEITO DA COMPETIÇÃO NA FORMAÇÃO DE ANÉIS DE CRESCIMENTO	153
2.6 VARIAÇÃO DO INCREMENTO RADIAL AO LONGO DO FUSTE	155
2.7 DINÂMICA DOS DIÂMETROS DE ÁRVORES AO LONGO DO TEMPO ..	155
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	156
3.1 CONFIRMAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO	156
3.2 ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA.....	158
3.3 EFEITO DA COMPETIÇÃO NA FORMAÇÃO DE ANÉIS DE CRESCIMENTO	158
3.4 INFLUÊNCIA DA AUSÊNCIA DE ANÉIS DE CRESCIMENTO E DA DATAÇÃO NA ANÁLISE DE CRESCIMENTO	161
3.5 VARIAÇÃO DO INCREMENTO RADIAL AO LONGO DO FUSTE	164
3.6 DINÂMICA DOS DIÂMETROS DE ÁRVORES AO LONGO DO TEMPO ..	169
4 CONCLUSÕES	173
5 RECOMENDAÇÕES.....	173

REFERÊNCIAS	174
-------------------	-----

CAPÍTULO IV

MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA EM ÁRVORES DE UM POVOAMENTO SUPERESTOCADO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

RESUMO	179
ABSTRACT	180
1 INTRODUÇÃO.....	181
2 MATERIAL E MÉTODOS	184
2.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS	184
2.2 PREPARO DAS AMOSTRAS	184
2.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA	185
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	186
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	187
4 CONCLUSÕES.....	196
5 RECOMENDAÇÕES	196
REFERÊNCIAS	197

CAPÍTULO V

ANÁLISE RETROSPECTIVA DA COMPETIÇÃO NO CRESCIMENTO DIAMÉTRICO EM UM POVOAMENTO SUPERESTOCADO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

RESUMO	203
ABSTRACT	204
1 INTRODUÇÃO.....	205
2 MATERIAL E MÉTODOS	207
2.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS	207
2.2 PREPARO DE AMOSTRAS E MEDIÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO	208
2.3 AJUSTE DE EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO	208
2.4 IDENTIDADE DE MODELOS.....	209
2.5 TEMPO DE PASSAGEM POR CLASSE DIAMÉTRICA	210
2.6 ANÁLISE RETROSPECTIVA DA COMPETIÇÃO	211

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	212
3.1 EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO.....	216
3.2 TEMPO DE PASSAGEM POR CLASSE DIAMÉTRICA	222
3.3 EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO EM VOLUME	222
3.4 ANÁLISE RETROSPECTIVA DA COMPETIÇÃO	225
4 CONCLUSÕES.....	227
5 RECOMENDAÇÕES	228
REFERÊNCIAS	229

CAPÍTULO VI

ALTERNATIVAS PARA O MANEJO DA FLORESTA NACIONAL DE AÇUNGUI

RESUMO	233
ABSTRACT	234
1 INTRODUÇÃO.....	235
2 CARACTERIZAÇÃO ATUAL DA FLORESTA NACIONAL DE AÇUNGUI	237
3 ALTERNATIVAS PARA MANEJO DA FLORESTA NACIONAL DE AÇUNGUI	238
3.1 RESTAURAÇÃO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (FOM)	239
3.1.1 Produtos florestais não madeireiros.....	240
3.1.2 Produtos florestais madeireiros.....	242
3.2 CONDUÇÃO PARA FINS DE PRODUÇÃO BASEADA EM ESTRUTURA DE PLANTIO	243
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	248
REFERÊNCIAS	249

1 INTRODUÇÃO GERAL

Por longo período, desde o século XIX, a *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. apresentou posição de destaque dentre as espécies produtoras de madeira (INOUE *et al.*, 1979). Em função da sua exploração e da expansão agrícola, teve sua área de ocorrência reduzida.

Em torno de 1945 surgiram os primeiros plantios de *Araucaria angustifolia* no estado do Paraná, na Klabin Celulose e Papel S/A e no Instituto Nacional do Pinho (DIETRICH, 1979), sendo que muitas dessas áreas são hoje Florestas Nacionais. Os plantios atingiram seu auge com os incentivos fiscais na década de 1960, sendo a *Araucaria angustifolia* a espécie mais plantada dentro do programa de obrigatoriedade legal de reposição de espécies nativas, porém, a maioria dos povoamentos implantados não apresentava o desenvolvimento esperado para esta espécie, devido à complexidade do seu manejo silvicultural (INOUE *et al.*, 1979).

Assim, o interesse em plantios com *Araucaria angustifolia* diminuiu devido aos erros cometidos na implantação e manejo de povoamentos da espécie, em função do desconhecimento de sua ecologia, aliada à introdução e estímulo de plantio de espécies exóticas de rápido crescimento, como *Pinus* e *Eucalyptus* (NUTTO, 2001) e, posteriormente, devido às questões relacionadas à legislação, apesar da restrição ser apenas para a exploração da madeira de araucárias nativas. Assim, muitos dos plantios existentes hoje, por não terem sido submetidos a práticas de manejo adequadas, apresentam crescimento baixo e estagnado. Esses plantios, no entanto, podem apresentar informações para o embasamento de planos de manejo dessas áreas.

Uma vez que nesses plantios nenhum acompanhamento do crescimento foi realizado, a dendrocronologia e análise de tronco se mostram muito úteis para recuperar as informações de variáveis dendrométricas, pela agilidade e precisão dos dados (HUSCH *et al.*, 1982; AKACHUKU, 1984; SPIECKER, 2002), uma vez que a visualização dos anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* tem se confirmado possível (SEITZ; KANNINEN, 1989; MATTOS *et al.*, 2007a, 2007b, 2010; OLIVEIRA, 2009, 2010), obtendo-se relações entre as variáveis de interesse e a idade da árvore, e informações essenciais para o manejo, como as taxas médias de incremento

(CHATURVEDI; KHANNA, 1982), permitindo a realização de inferências sobre a produção futura da floresta (ENCINAS *et al.*, 2005).

De acordo com Fritts (1976), a partir dos anéis de crescimento podem-se fazer reconstruções de séries históricas, das condições ambientais, bem como previsões de crescimento, para subsidiarem diversos estudos relacionados à conservação das florestas.

Assim, a análise dendrocronológica apresenta a possibilidade para compreender as limitações impostas pela competição entre árvores, possibilitando direcionar povoamentos para otimização do investimento e do retorno econômico, visando o uso dos recursos de forma sustentável, para subsidiar a tomada de decisão do gestor florestal.

A taxa de crescimento em diâmetro é determinada pelo espaço de crescimento de que a árvore dispõe, sendo o espaço de cada árvore limitado pelas árvores vizinhas, levando a competição ao nível das copas e das raízes (HILEY, 1959). A competição talvez seja o fator biológico mais importante no manejo florestal, já que quase todas as intervenções estão relacionadas com a manipulação desse fator ou de condições que o afetam (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008), sendo que essa pode ser definida como a falta de espaço resultante de uma alta densidade intra-específica, influenciando diretamente o desenvolvimento do indivíduo (ASSMANN, 1970), o que reflete no espaço vital que cada árvore tem disponível para o seu desenvolvimento, sendo as características da copa um indicador da vitalidade das árvores (DURLO; DENARDI, 1998).

Povoamentos densos podem resultar em menos luz nas camadas mais baixas do dossel, provocando a morte dos galhos nessas posições (NUTTO, 2001), de forma que a copa viva se afasta da base, resultando em declínios na produção individual de madeira, assim como mudanças na distribuição do crescimento ao longo do fuste e nos teores de lenho tardio dentro dos anéis, sendo fator determinante no tipo de madeira formada no fuste (LARSON, 1963), e entretanto, devido à complexidade da interação de fatores do ambiente, o nível de confiança para previsão de valores da qualidade da madeira é bastante reduzido (LARSON *et al.*, 2001).

Muitos modelos de crescimento buscam expressar a densidade por meio de índices de competição (WIMBERLY; BARE, 1996) que possuem a função de indicar o status competitivo de uma determinada árvore em relação às árvores competidoras (RADTKE *et al.*, 2003). Em função do tipo de índice de concorrência utilizado, os

modelos de crescimento para árvores individuais são divididos em dois principais grupos: os modelos dependentes de distância ou modelos espaciais, e os modelos independentes de distância, ou não espaciais (VANCLAY, 1994).

No entanto, cada povoamento florestal exige um manejo específico, que envolve tratamentos variados. Em geral, as espécies respondem diferentemente na recuperação do crescimento, após interferência, por exemplo, de desbaste (PLAUBORG, 2004), sendo que a heterogeneidade ambiental e o histórico de manejo da área podem resultar em situações distintas do desenvolvimento da floresta (KRUMM *et al.*, 2012), criando maior complexidade para a geração de protocolos de manejo específicos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar o crescimento sob a influência da competição em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia*, visando gerar subsídios para o manejo da espécie.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar e relacionar variáveis dendrométricas e morfométricas;
- b) Determinar a densidade máxima de árvores por hectare com base na área de projeção de copa;
- c) Estimar, avaliar e selecionar índices de competição independentes e dependentes da distância, incluindo índices de área de copa, e identificar os que mais se correlacionam com o diâmetro atual e, conseqüentemente, com o crescimento diamétrico;
- d) Caracterizar um povoamento superestocado de *Araucaria angustifolia* e desenvolver modelos para quantificação do estoque madeireiro, visando subsidiar a elaboração de planos de manejo em povoamentos com condições semelhantes.
- e) Avaliar o crescimento ao longo do fuste e o efeito da competição no crescimento das árvores;
- f) Avaliar entre árvores de diferentes classes de diâmetro, as variações radiais e longitudinais da massa específica básica da madeira, visando verificar prováveis influências de competição e intervenções de desbaste ocorridas no passado;
- g) Determinar o padrão de crescimento de árvores em diferentes classes de diâmetro atual pelo estudo dos anéis de crescimento e a evolução da competição ao longo dos anos, por meio de aplicação retrospectiva de índice de competição;
- h) Propor alternativas para subsidiar a elaboração do plano de manejo da Floresta Nacional de Açungui, bem como, de outras áreas florestais semelhantes.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *Araucaria angustifolia* (CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE)

Araucaria angustifolia (Bertoloni) Otto Kuntze, conhecida vulgarmente como pinheiro-do-paraná, é uma espécie arbórea pertencente à família Araucariaceae, perenifólia, comumente com 10 a 35 m de altura e 50 a 120 cm de diâmetro, podendo atingir até 50 m de altura e 250 cm de diâmetro na idade adulta. A espécie apresenta adaptabilidade fisiológica às condições de luminosidade do ambiente. Quando adulta, é heliófila e tolerante à temperaturas baixas (CARVALHO, 2003). O tronco é bem cilíndrico, reto e raras vezes ramificado, com casca grossa (até 15 cm) e resinosa (REITZ *et al.*, 1983).

No Brasil, ocorre desde o estado do Rio Grande do Sul até Minas Gerais, em altitudes superiores a 900 metros, sendo que nos estados do sul do país, ocorre em regiões acima de 500 m de altitude (LORENZI, 2002).

Possui madeira de alta qualidade e ampla aplicabilidade, além do pinhão, como produto florestal não-madeireiro. Apresenta madeira de cor clara, às vezes com tonalidade rósea, com cerne indistinto do alburno (PAULA; ALVES, 2007). A madeira é leve (densidade básica $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$), com coeficiente de retratibilidade médio (0,52%) (MAINIERI; CHIMELO, 1989).

A madeira da *Araucaria angustifolia* apresenta boas características físicas e mecânicas em relação à sua densidade básica, sendo indicada para construções em geral, caixotaria, móveis, laminados, entre outros usos (MAINIERI; CHIMELO, 1989). Pelos traqueóides longos e rendimento em celulose, o papel produzido é considerado de ótima qualidade (INOUE *et al.*, 1984; MAINIERI; CHIMELO, 1989).

Seu crescimento inicial é lento, porém, a partir do terceiro ano, em sítios adequados, apresenta taxas de incremento anual em altura de 1 m, e a partir do quinto ano, taxas de incremento em diâmetro de 1,5 a 2,0 cm (CARVALHO, 2003).

A forma da copa das araucárias é um indicativo do seu estágio ontogênico. Em árvores adultas e senescentes a copa apresenta forma de candelabro ou umbela, e em árvores jovens apresentam copa com formato cônico. Os ramos primários são cilíndricos, curvos para cima, sendo maiores os ramos inferiores e menores os

superiores, apresentando ramos secundários, grimpas, alternos e agrupados no ápice dos ramos primários (REITZ *et al.*, 1978).

Segundo Carvalho (2003) é uma planta dioica, raramente monoica, por traumas e doenças, apresentando estruturas reprodutoras organizadas em estróbilos masculinos e femininos. A polinização ocorre principalmente pelo vento. A dispersão de sementes geralmente é apenas por autocoria, principalmente barocórica, sendo a distância máxima da árvore-mãe limitada (60 a 80 m), devido ao peso das sementes. Também é zoocórica, feita por aves e roedores.

Segundo Paludo *et al.* (2009) em *Araucaria angustifolia*, a limitada dispersão parece não ser problema para a regeneração da espécie.

A produção de sementes em plantios se dá a partir de 20 anos e se restringe a poucos meses do ano. Além disso, a semente possui curta longevidade natural e apresenta ciclos de produção, com anos de contra-safra após dois ou três anos consecutivos de alta produção de sementes, de forma a dificultar a propagação natural (CARVALHO, 2003).

Paludo *et al.* (2009) enfatizaram a falta de informações sobre a ecologia da *Araucaria angustifolia* para a elaboração de técnicas eficazes para seu manejo e conservação. A inexistência de informações sobre o comportamento da *Araucaria angustifolia* em climas e solos diversos, foi levantado por Reitz *et al.* (1978) que consideraram como os principais motivos para a inexistência ou, até mesmo, o fracasso de reflorestamentos. O que se sabe é que para desenvolvimento rápido, a *Araucaria angustifolia* é exigente em solos (EMBRAPA, 1988). Para Hoogh (1981), os que apresentam horizonte A bem desenvolvido, com alta disponibilidade de cálcio e magnésio, profundos, porosos, bem drenados, textura franca e argilosa, são condições ideais para essa espécie.

Reitz *et al.* (1978) consideraram que *Araucaria angustifolia* é uma espécie pioneira e heliófita. Para Embrapa (1988), é uma planta essencialmente heliófita, que somente se desenvolve bem em presença de luz abundante. Duarte e Dillenburg (2000) verificaram que em condições de pouca luz, mudas de *Araucaria angustifolia* apresentaram aumento significativo na área foliar específica, bem como na relação entre a altura/biomassa, evidenciando a busca por luz. Porém, para Soares (1979) *Araucaria angustifolia* não apresenta certas características fundamentais de pioneira nem clímax, uma vez que é necessário haver algum distúrbio de moderada

intensidade para que ela possa se regenerar naturalmente, definindo-a como uma espécie intermediária dentro de uma escala de sucessão.

Ocorre geralmente em agrupamentos quase homogêneos, dominando completamente o dossel superior, com a presença de espécies arbóreas de menor porte no sub bosque (LORENZI, 2002).

Trabalhos como os de Caldato *et al.* (1996), Silva *et al.* (1997), Negrelle e Leuchtenberger (2001), Narvaes *et al.* (2005) sugerem a baixa capacidade de regeneração natural de *Araucaria angustifolia* sob floresta desenvolvida, baseados principalmente no baixo número de indivíduos regenerantes.

Salante (1988) observou um maior número de plantas nas menores classes de diâmetro, porém, o estudo tratou de avaliar a transformação de uma floresta homogênea em heterogênea utilizando técnicas de manejo de regeneração natural e adensamento com *Araucaria angustifolia*.

Nos estudos de Paludo *et al.* (2009), em uma população natural em Caçador (SC), foi observado que a regeneração natural da espécie sob a floresta existe, uma vez que encontraram um número crescente de regenerantes, mas como a espécie é longeva, ela pode manter baixo número de indivíduos regenerantes na população e, mesmo assim, ter sucesso na regeneração.

Em uma floresta no Rio Grande do Sul, Souza *et al.* (2008), estudando regeneração de *Araucaria angustifolia*, observaram indicativos de deficiência na regeneração pela estrutura do remanescente de floresta bem conservado estudado, mas em locais com histórico recente de corte encontraram recrutamento de regeneração. Resultado semelhante foi observado por Rigg *et al.* (1998), estudando a estrutura de *Araucaria laubenfelsii* Corbasson, em Nova Caledônia, Austrália, onde observaram regeneração constante em áreas de floresta imatura, enquanto que em áreas de floresta madura a regeneração é limitada. A partir de estudos desenvolvidos na mesma região, Enright *et al.* (2001) sugerem que *Araucaria laubenfelsii* requer condição de abertura no dossel, para que ocorra recrutamento.

Para a avaliação da eficiência da regeneração natural, devem-se atentar as estratégias e ocorrências na floresta. Segundo Orellana (2014) em florestas não perturbadas, as taxas de regeneração da *Araucaria angustifolia* são mínimas. Porém, em florestas que sofreram interferência, por meio de cortes ou distúrbios naturais, às taxas de regeneração são mais evidentes, sugerindo que o corte seletivo de maneira sustentável, possibilitava a regeneração natural dessa espécie, pelo aumento da

incidência de luz. No entanto, ainda de acordo com o mesmo autor, pouco se sabe sobre a regeneração da *Araucaria angustifolia* em diferentes níveis de distúrbios e sobre a sucessão florestal ao longo do tempo, principalmente devido a diferentes níveis de antropismo, seja pela coleta de sementes, interferindo na regeneração, ou mesmo pelo corte ilegal de árvores de grande porte, dificultando, assim, um estudo comparativo em diferentes áreas e ensejando que estudos mais aprofundados sejam efetivados.

De acordo com Paludo *et al.* (2011), alguns fatores mais evidentes em *Araucaria angustifolia* podem provocar a mortalidade de plantas ingressantes, como:

(a) Procura por sementes de *Araucaria angustifolia* pela fauna (MULLER; MACEDO, 1980) e também indicações de que a fauna arranca indivíduos do estágio plântula (MELLO FILHO *et al.*, 1981; SANQUETTA *et al.*, 2005) na busca pelas sementes que permanecem conectadas por certo período após a emergência; e coleta de sementes para consumo humano que ocorre também em unidades de conservação, conforme relatado por Negrelle e Leuchtenberger (2001) e Paludo *et al.* (2009). Entretanto, Duarte *et al.* (2002) salientaram que a quantia de sementes não é limitante para o recrutamento sob a floresta, devido à abundância no solo durante a época de oferta.

(b) Alternância anual na produção de sementes de *Araucaria angustifolia* (MANTOVANI *et al.*, 2004). Paludo *et al.* (2011) encontraram variação no número de indivíduos que ingressaram numa população de *Araucaria angustifolia*, nos anos avaliados, podendo ser o resultado da alternância de produção de sementes.

(c) Acúmulo do folheto de *Araucaria angustifolia*, podendo cair sobre as plântulas, e matá-las.

(d) Efeito da presença de outras espécies, como gramíneas com densa cobertura na superfície do solo e que podem interferir no sucesso do estabelecimento.

(e) Queda de pinhas antes da época de maturação, sendo macacos como o bugio (*Allouata* sp.) e o macaco-prego (*Cebus* sp.) apontados como uma das prováveis causas da derrubada prematura de pinhas, embora outros fatores, como o vento, podem também ocasionar queda (PALUDO *et al.*, 2011).

(f) ambiente inadequado para o desenvolvimento das plântulas (PALUDO *et al.*, 2011).

3.2 *Araucaria angustifolia* NO PARANÁ (HISTÓRICO, EXPLORAÇÃO E REFLORESTAMENTO)

A alta qualidade da madeira e a grande disponibilidade e demanda de *Araucaria angustifolia* provenientes da Floresta Ombrófila Mista, no sul do Brasil, foram fatores importantes que contribuíram para a drástica redução das Florestas com araucária (SANQUETTA *et al.*, 2002).

Araucaria angustifolia foi explorada sem nenhuma preocupação desde o século XIX, tendo sido o corte de caráter extrativista, destinado ao preparo de áreas para o cultivo agrícola, um dos fatores responsáveis pela diminuição das reservas de florestas naturais na sua região de ocorrência (FUPEF, 1978), sendo afetada pelo problema de exploração das reservas nativas depois de séculos de atividade exclusivamente extrativista, época em que contribuiu significativamente para o crescimento da economia no estado do Paraná (FRIEDL, 1989).

Por volta de 1900, essa formação florestal era estimada em 16,07 milhões de hectares, correspondendo a 83,4% do total dos Estados de Santa Catarina e Paraná. Em 1950 o total já não ultrapassava 7,8 milhões de hectares. Em 1970, a cobertura nativa era inferior a 20% da área original (BRASIL, 1991).

Hueck (1972), concluindo pesquisas em 1959, citava as florestas de araucária como a região mais importante para a economia florestal e madeireira do país, devido ao fato de naquela época, em cerca de 1 milhão de m³ de madeiras exportadas anualmente pelo Brasil, 90% serem de *Araucaria angustifolia*.

Segundo Maack (1981), em 1930, no Paraná a área de *Araucaria angustifolia* era de aproximadamente 3.958.000 ha. Em 1978 estava reduzida a, aproximadamente, 316.000 ha, correspondendo a aproximadamente 8% da cobertura original (FUPEF, 1978).

Inoue *et al.* (1979) comentaram que a *Araucaria angustifolia* assumia posição de destaque dentre as espécies produtoras de madeira de lei, sendo a essência mais plantada dentro do programa de obrigatoriedade legal de reposição de espécies nativas. Porém, enfatizaram que a grande maioria dos povoamentos implantados não apresentaram o desenvolvimento esperado, devido à complexidade para seu manejo silvicultural.

Os primeiros plantios de araucária em escala e dentro de medidas técnicas, foram iniciados na década de 1920, na Companhia Melhoramentos de São Paulo, no município de Caieiras, SP. No estado do Paraná, os primeiros plantios tiveram início com as atividades do Instituto Nacional do Pinho em torno de 1945 e, na iniciativa privada com a Klabin Celulose e Papel S/A (DIETRICH, 1979), atingindo o auge com o surgimento dos incentivos fiscais na década de 1960.

O Instituto Nacional do Pinho tinha como objetivo, entre outros, “coordenar e superintender os trabalhos relativos à defesa da produção do pinho (*Araucaria angustifolia*) e contribuir para o reflorestamento na sua zona de produção”. O então Instituto Nacional do Pinho, que por meio do Decreto-Lei nº 289, de 28 de fevereiro de 1967, Artigo 21, passou seus respectivos acervos, patrimônios, recursos financeiros, débitos e créditos para o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), realizou o processo de reflorestamento com *Araucaria angustifolia* em diferentes áreas, onde, dentre elas pode-se citar o que hoje é conhecido como Floresta Nacional (FLONA) do Açungui, Campo Largo, PR. No Paraná, outro exemplo de conservação de Florestas de Araucária é a Floresta Nacional de Irati.

Com a implantação dos povoamentos de araucária, diversos problemas surgiram, podendo-se ressaltar os relacionados com o armazenamento de sementes, técnicas inadequadas de viveiro, tratos culturais inadequados, falta de manejo dos povoamentos, plantio em sítios inadequados, de forma a perder força devido à concorrência das espécies exóticas, menos exigentes em relação a fatores edáficos e com períodos de rotação mais curtos (DIETRICH, 1979), como *Pinus* e *Eucalyptus*. Assim, em consequência da carência de informações sobre a ecologia da espécie e de redução de interesse econômico, foram cometidos erros nos reflorestamentos e no manejo que causaram danos irreparáveis, reduzindo ainda mais o interesse comercial pela espécie (NUTTO, 2001).

A partir da década de 1980 houve drástica redução na implantação de novos reflorestamentos de araucária, além de falta de incentivo para práticas de manejo nos plantios já existentes, fato que hoje reflete no crescimento baixo e estagnação dos povoamentos, como o caso da Floresta Nacional de Açungui.

Vale ressaltar que por estar ameaçada de extinção, o manejo e o uso da madeira da *Araucaria angustifolia* estão sob restrições, quando na forma nativa. A Portaria nº 046 de 20 de março de 2006, complementada pela portaria nº 060 de abril de 2006 do Instituto Ambiental do Paraná (IAP), estabelece critérios para o corte de

espécies florestais consideradas em extinção no estado do Paraná, dentre as quais, inclui-se a *Araucaria angustifolia*.

Entretanto, de acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), as Florestas Nacionais tem como objetivo o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais renováveis e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas. Portanto, com a autorização do órgão responsável pela administração da unidade é possível promover a pesquisa do manejo florestal sustentado da araucária (BRASIL, 2000).

3.3 COMPETIÇÃO

A competição pode ser definida como a falta de espaço resultante de uma alta densidade de indivíduos, influenciando diretamente seu desenvolvimento (ASSMANN, 1970).

Para que a utilização do espaço pelas raízes e copas seja o maior possível, é necessário que as árvores estejam distribuídas uniformemente, tendo como resultado uma menor competição entre os indivíduos (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

O fator de competição está diretamente relacionado com o espaço vital que cada árvore tem disponível para o seu desenvolvimento. De acordo com Kramer e Koslowski (1960), as árvores que competem se encontram em uma luta dinâmica pela existência, em que muitas acabam sendo eliminadas devido à seleção natural.

Segundo Durlo (2001), logo que se inicia a concorrência entre as árvores, devido ao fechamento do espaço aéreo pelas copas, inicia-se também a diferenciação de classes sociológicas, em que alguns indivíduos se sobressaem no dossel da floresta, enquanto outros são dominados por seus vizinhos.

As características qualitativas da copa são um indicador da vitalidade das árvores, portanto a proporção atual de copa de uma árvore dá indicativos do grau de competição por ela sofrido no passado, podendo, por isso, ser usado em modelos de

competição. Quanto maior a porcentagem de copa, tanto mais vital e produtiva é a árvore (DURLO, 1996¹ *apud* DURLO; DENARDI 1998).

Variáveis como superfície, diâmetro e comprimento da copa estão diretamente relacionadas com o crescimento e a produção de uma árvore. Essas variáveis são modificadas pela concorrência, de forma que quanto mais denso o povoamento, menos luz atinge as camadas mais baixas do dossel, provocando a morte dos galhos nessas posições (NUTTO, 2001).

Quando uma árvore cresce de forma isolada, não recebendo qualquer tipo de concorrência, aérea ou subterrânea, ela pode ser considerada livre de concorrência. É importante conhecer o crescimento livre de concorrência para o manejo das florestas e povoamentos florestais, com vistas à sustentabilidade da produção, interessando não apenas o crescimento volumétrico da madeira, expresso pelo incremento em diâmetro e altura e pela modificação do fator de forma, mas também o crescimento e as modificações da forma da copa (DURLO *et al.*, 2004).

Ainda, de acordo com os autores, as formas e dimensões da copa das árvores livres de concorrência são balizas determinantes para as intervenções silviculturais, quando essas estiverem crescendo em maciços florestais. Observa-se, no entanto, que em algumas espécies as formas das copas podem sofrer modificações com o passar do tempo. Portanto, as intervenções silviculturais, com vistas à melhoria do incremento dos indivíduos de maior valor, não podem prescindir do conhecimento das exigências de espaço vital das diferentes espécies ao longo do seu ciclo de vida.

A partir de estudos sobre as dimensões de copas, suas formas e modificações, busca-se o desenvolvimento de modelos matemáticos de concorrência, podendo-se, assim, modelar funções que expressem o crescimento de povoamentos florestais (DURLO; DENARDI, 1998; DURLO *et al.*, 2000; DELLA-FLORA *et al.*, 2004).

¹ DURLO, M. A. **Zuwachsuntersuchungen und Einzelbaumwachstumsmodelle für *Cabralea canjerana*, *Cedrela fissilis* und *Cordia trichitima* in sekundären Laubmischwäldern Südbrasilien**. 175 p. Dissertation. Institut für Waldwachstumsforschung. Universität für Bodenkultur, Wien, 1996.

3.4 MORFOMETRIA

Estudos que procuram relacionar variáveis morfológicas com variáveis de fácil obtenção, como o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (dap) e a altura são frequentes, podendo-se destacar os trabalhos de Daniels *et al.* (1986), Durlo (1996), Hasenauer (1997), Durlo e Denardi (1998), Durlo (2001), Nutto (2001), Nutto *et al.* (2001), Tonini e Arco-Verde (2005), entre outros. Nesses trabalhos são sugeridas diferentes formas de se descrever e modelar a competição entre as árvores e as implicações para o manejo florestal. Segundo Durlo e Denardi (1998), o pioneiro nas caracterizações e modelos de copa de árvores foi Burger (1939)².

De acordo com Durlo e Denardi (1998), a morfometria de uma árvore e as variáveis derivadas são usadas para transmitir uma ideia das relações interdimensionais, reconstituir o espaço ocupado para cada árvore, julgar o grau de concorrência de um povoamento e permitir, também, o estabelecimento de inferências sobre a estabilidade, a vitalidade e a produtividade de cada indivíduo.

Durlo e Denardi (1998), baseados em Hasenauer (1994)³, Hasenauer *et al.* (1995)⁴ e Pretzsch (1995)⁵, comentaram ainda que dada a possibilidade de criação de modelos de concorrência e de crescimento, pela obtenção de variáveis a partir de árvores individuais, as relações morfológicas e suas respectivas modificações com o tempo configuram ainda maior importância.

Para definir a quantidade de árvores a permanecer ao final de uma rotação, pressupõe-se conhecer o espaço necessário para que cada árvore desenvolva-se até o período de corte. Para descrever o espaço vital necessário para que *Pinus elliottii* Engelm. atingisse um diâmetro objetivo a 1,30 m, Nutto *et al.* (2001) valeram-se do diâmetro da copa, quantificando-o a partir de oito raios com ângulos variáveis.

² BURGER, H. Baumkrone und Zuwachs in zwei hiebsreifen Fichtenbeständen. **Mitt. Schweiz. Anst. f. forstl. Vers. Wesen.** v. 21, p. 147-176, 1939.

³ HASENAUER, H. Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten Kiefern-und Buchen-Fichtenmischbestände. **Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur**, Wien. Band 8, 152 p. 1994.

⁴ HASENAUER, H.; MOSER, M.; ECKMÜLLNER, O. Ein Programm zur Modellierung von Wachstumsreaktionen. **Allgemeine Forstzeitung.** v. 4, p. 216-218, 1995.

⁵ PRETZSCH, H. Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung **Forstwissenschaftliches Centralblatt.** v. 114, p. 188-209, 1995.

O diâmetro de copa é uma variável básica para a dedução de outras características das árvores e corresponde à distância entre as linhas de projeção dos pontos mais externos da copa (DURLO; DENARDI, 1998). Como área de projeção da copa entende-se a superfície coberta pela projeção vertical da copa de uma árvore, sendo normalmente calculada a partir da medição de um determinado número de raios de projeção da copa (DURLO; DENARDI, 1998). A área de projeção de copa permite que se conheça o espaço ocupado por uma árvore e, quando se dispõe também de dados do incremento, permite obter a produção e a produtividade dela (MITSCHERLICH, 1978⁶, *apud* DURLO; DENARDI, 1998).

De acordo com Prodan *et al.* (1997), a medição do diâmetro de copa de árvores levanta uma problemática diferente. Segundo os mesmos autores, o diâmetro da copa não pode ser medido com dendrômetros óticos, porque o limite de diâmetros que estes instrumentos permitem medir são muito limitados. O diâmetro da copa se determina geralmente mediante a projeção de pontos do seu contorno sobre o terreno.

Quanto à proporção ou porcentagem de copa, Durlo e Denardi (1998), citando Hasenauer (1994)⁷, Monserud e Sterba (1994)⁸ e Durlo (1996)⁹ definem que esta corresponde à relação entre o comprimento da copa e altura total da árvore, e é um indicador da vitalidade das árvores, e que quanto maior a porcentagem de copa, tanto mais produtiva é a árvore.

Segundo Tonini e Arco-Verde (2005) a medição das variáveis morfométricas consome muito tempo, sendo utilizadas variáveis independentes de fácil obtenção, como o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (dap) e a altura, em equações de regressão.

As características dimensionais como o dap, área basal, altura total e do fuste, área de projeção de copa e o volume da copa são conceitos conhecidos, já os

⁶ MITSCHERLICH, G. **Wald, Wachstum und Umwelt**. Eine Einführung in die ökologischen Grundlagen des Waldwachstums. Erster Band: Form und Wachstum von Baum und Bestand. II Auflage. J. D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt am Main. 1978. 144 p.

⁷ HASENAUER, H. Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten Kiefern-und Buchen-Fichtenmischbestände. **Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur**, Wien. Band 8, 152 p. 1994.

⁸ MONSERUD, R. A.; STERBA, H. **PROGNAUS** ein Einzelbaumsimulator für ungleichaltrige Bestände in Österreich. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt: Bestimmung der Parameter des Waldwachstumssimulator PROGNOSE für Österreichische Baumarten, gefördert von Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (GZ 56.820/09-VA2b/94). 1994.

⁹ DURLO, M. A. **Zuwachsuntersuchungen und Einzelbaumwachstums-modelle für *Cabralea canjerana*, *Cedrela fissilis* und *Cordia trichitima* in sekundären Laubmischwälder SüdBrasiliens**. 175 p. Dissertation. Institut für Waldwachstumsforschung. Universität für Bodenkultur, Wien, 1996.

conceitos de manto de copa, o índice de abrangência, formal de copa, grau de esbeltez, índice de saliência e índice de espaço vital são menos conhecidos. A definição dessas principais características morfométricas das árvores, foram claramente expostas por Durlo e Denardi (1998), conforme descrito a seguir:

- a) O manto de copa, calculado como a área superficial, é dado pelo sólido de rotação que melhor modela a copa de cada espécie, pode ser usado para calcular a produção e a produtividade. É, entretanto, de difícil obtenção e não produz resposta sensivelmente melhor que a simples projeção de copa.
- b) O índice de abrangência é calculado pela relação entre o diâmetro de copa e a altura total da árvore. Havendo uma correlação entre o referido índice e a altura das árvores, eles podem ser usados também como indicador de desbaste ao longo da vida do povoamento.
- c) O Formal de copa é dado pela relação entre o diâmetro de copa e o comprimento da copa, servindo como critério para a marcação de desbastes. Quanto menor o formal de copa, melhor é a produtividade da árvore. Isto se deve unicamente à relação entre o manto de copa e a área de projeção de copa. Se duas árvores da mesma espécie tiverem o mesmo diâmetro de copa, produzirá mais por unidade de projeção de copa aquela que tiver um menor formal, ou seja, aquela que tiver copa mais longa, pois terá maior manto de copa, para uma mesma área de projeção.
- d) O Grau de esbeltez, também conhecido como relação entre a altura da árvore e o dap, é uma variável que caracteriza a estabilidade das árvores, podendo servir como indicativo de desbastes em atraso, especialmente em povoamentos puros e equiâneos. Quanto mais alto o grau de esbeltez, tanto mais instável é a árvore. Tonini e Arco-Verde (2005) mencionam que uma relação superior a 1 indica que o crescimento em diâmetro é reduzido em relação à altura.
- e) A relação entre o diâmetro de copa e o dap, chamada de índice de saliência, pode ser utilizada como indicador de desbaste, podendo-se determinar o espaço a ser liberado ao redor de uma árvore selecionada, para que ela cresça sem concorrência. Esse índice expressa quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o dap.

Stampfer (1995,¹⁰ citado por DURLO; DENARDI, 1998) utilizou o índice de saliência para definir o número máximo de indivíduos por hectare, de forma a não haver mais concorrência, ao prever o manejo de um povoamento pelo diâmetro atingido, e existindo uma correlação significativa entre o índice e o dap. Desse modo, o índice pode ser usado como indicador de desbaste. Santos (2012) em um plantio de *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso utilizou os índices morfométricos, de saliência e grau de esbeltez, identificando a densidade ótima de árvores de acordo com o incremento médio em diâmetro. Segundo Schneider e Schneider (2008), vários ensaios mostram que existe alta correlação entre o dap e o diâmetro da copa (dc).

Quando o índice de saliência é elevado ao quadrado, chama-se de índice de espaço vital, sendo que quanto menor for esse índice em média em um povoamento, tanto maior será sua área basal e, provavelmente, também seu volume por hectare (DURLO; DENARDI, 1998).

3.5 DENSIDADE POPULACIONAL

O conceito de densidade está estritamente ligado às condições de concorrência, ocupação da superfície e fechamento do dossel (PRODAN *et al.*, 1997). Assim, a densidade pode ser utilizada como variável de decisão para intervenções silviculturais, como também em modelos simuladores de crescimento e na prognose de produção.

Segundo Schneider e Schneider (2008), a densidade de um povoamento florestal pode ser expressa em termos de área basal, volume, número de árvores e/ou superfície das copas por unidade de área, estando implícito o nível de utilização dos fatores de crescimento locais das árvores como água, luz, nutrientes e CO².

A densidade do povoamento é influenciada pelos fatores bióticos e abióticos do meio, pois controlam a disponibilidade dos fatores produtivos como água, luz e nutrientes, e a qualidade do sítio, que influenciam a sobrevivência, o crescimento e

¹⁰ STAMPFER, E **Solitärdimensionen österreichischer Baumarten**. Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur, Wien. 1995. 102 p.

vigor das plantas (SCOLFORO, 2007), sendo que as dimensões das árvores são resultados da combinação desses fatores.

Portanto, a taxa de crescimento em diâmetro será determinada pelo espaço de crescimento de que a árvore dispõe, sendo o espaço de cada árvore limitado pelas árvores vizinhas, levando a competição ao nível das copas e das raízes (HILEY, 1959).

A competição que conduz à eliminação de indivíduos no povoamento, também causa a diminuição do crescimento, sendo que essa relação varia inversamente segundo o grau de dominância alcançado pelos indivíduos, ou seja, pela posição da copa (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

Em povoamentos florestais de alta densidade, as árvores estão em constante competição pelo espaço aéreo e pelo espaço no solo e algumas superarão os indivíduos menos vigorosos, por meio de maior atividade fisiológica (KRAMER; KOSLOWSKI, 1960), sendo necessárias intervenções silviculturais para otimização do seu potencial de crescimento.

O desbaste é uma intervenção que tem a finalidade de interferir na competição entre as árvores, concentrando a produção, em termos de incremento, nas árvores que constituirão o corte final ou as que serão aproveitadas nos desbastes comerciais (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008). Segundo Assmann (1970), os desbastes não objetivam apenas a aceleração do crescimento em diâmetro, mas também a concentração do crescimento em um menor número de árvores.

Nos modelos de crescimento, a densidade é expressa por meio de índices de competição, que podem ou não levar em consideração a distância entre a árvore concorrida e a concorrente (WIMBERLY; BARE, 1996).

Segundo Assmann (1970), nos locais com déficit de água e nutrientes, a supressão de árvores dominadas e suprimidas, ou a remoção da vegetação ao redor da árvore trará benefícios às plantas selecionadas para permanecerem no povoamento.

3.6 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO

As pesquisas e o desenvolvimento de índices de competição têm sido aplicados, sobretudo, na prognose do crescimento em plantios florestais ou grupos de espécies em florestas naturais (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008). Diferentes métodos têm sido utilizados para medir a competição e definir variáveis correlacionadas com a competição, que sejam de fácil obtenção (BIGING; DOBBERTIN, 1995).

Os índices de competição estão entre as variáveis explicativas mais utilizadas para predizer o crescimento e a mortalidade de árvores individuais (RADTKE *et al.*, 2003). Dessa forma, a eficiência de modelos de crescimento e produção em nível de árvore individual pode ser maior com o uso desses índices (LORIMER, 1983).

Schneider e Finger (2000) enfatizam que a competição pode ser descrita em função do comprimento, altura e diâmetro de copa, posição sociológica e tendência de crescimento, originando diferentes índices, segundo a conveniência e disponibilidade de dados.

Em um modelo de crescimento e produção para árvores individuais, a função de um índice de competição é indicar o status competitivo de uma determinada árvore em relação às árvores competidoras (RADTKE *et al.*, 2003).

Os índices de competição descrevem a competição total para árvores vizinhas que estejam afetando o desenvolvimento de outra árvore. Esses índices usualmente levam em conta, de forma direta ou indireta, o número de competidores, o tamanho das árvores, o tamanho do competidor e a distância entre os competidores (MAGNUSSEN, 1994; PIUTTI; CESCATTI, 1997).

O desempenho de um índice de competição em modelos de crescimento e produção, frequentemente é avaliado pela correlação com alguma característica de crescimento de interesse, podendo ser citado o incremento em diâmetro, área basal ou altura (DANIELS *et al.*, 1986), ou pela redução no erro do modelo de predição quando se insere o índice de competição (WIMBERLY; BARE, 1996).

Sabendo-se que os modelos de crescimento para árvores individuais são divididos em modelos dependentes e independentes de distância, em função do tipo de índice de competição utilizado, então, os modelos baseados em índices independentes da distância caracterizam o povoamento pelo número e dimensão de

cada uma das árvores, porém sem ter em conta a sua localização no terreno. Para a elaboração desse tipo de modelo, necessita-se modelar o crescimento em altura dominante, o crescimento em diâmetro ou em área basal, e a mortalidade natural (DAVIS; JOHNSON, 1987).

Se o índice for baseado na medição da distância entre a árvore objetivo em relação às árvores vizinhas dentro de uma área determinada, em que esteja ocorrendo competição por luz, água e nutrientes, então este é chamado dependente da distância (DAVIS; JOHNSON, 1987). Nos índices dependentes da distância pode-se levar ou não em conta a evolução da copa das árvores.

Nos modelos que se analisa a evolução da copa das árvores é necessário estudar a copa viva quando não existe competição com os vizinhos para então analisar as interações com o restante do povoamento (PRODAN *et al.*, 1997). Segundo Biging e Dobbertin (1992), a inclusão de parâmetros estimados de copa melhora substancialmente o desempenho das medidas dependentes da distância.

Uma grande variedade de índices está disponível, podendo ser utilizados para diferentes situações, povoamentos e espécies (DANIELS *et al.*, 1986), sendo alguns mais complexos que outros. Dentre os índices independentes da distância, destacam-se os de BAL (*Basal Area Larger*), Glover e Hool (1979), Daniels *et al.* (1986), Lorimer (1983), entre outros. Os índices dependentes da distância que se destacam são os de Bella (1971), Arney (1973), Hegyi (1974), entre outros. Pode ser citado também o índice semi-independente da distância, proposto por Stage e Ledermann (2008), que foi desenvolvido para parcelas circulares, em que é possível utilizar o fator de área basal da amostragem por Bitterlich, sendo espacialmente restritos a um menor conjunto de árvores vizinhas, somente aquelas mais próximas, ao invés de todas da unidade amostral (LEDERMAN, 2010; CONTRERAS *et al.*, 2011).

Biging e Dobbertin (1995), ao reverem estudos e resultados obtidos em relação aos ganhos no poder de predição de índices dependentes da distância, concluíram que nenhum índice, dependente ou independente da distância, tem se mostrado superior aos demais, sendo a superioridade de um índice verificada somente para determinadas situações e espécies.

De acordo com Tonini (2007), apesar dos avanços obtidos com o desenvolvimento de diversos índices de competição com os mais variados níveis de complexidade, tem-se observado que a habilidade preditiva não depende da

complexidade, nem do volume de dados coletados para o seu cálculo, mas sim, da espécie estudada. Em muitos casos, os índices mais simples são os mais eficientes.

3.7 FORMAÇÃO E IMPORTÂNCIA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

O crescimento das árvores consiste na atividade dos meristemas: primário, que é responsável pelo crescimento em altura; e secundário ou câmbio, responsável pelo crescimento em diâmetro (HUSCH *et al.*, 1982).

Segundo Burger e Richter (1991), os anéis de crescimento representam habitualmente o incremento anual da árvore, em consequência do crescimento cambial. No entanto, de acordo com Brown (1974), devido à periodicidade da formação de um anel de crescimento variar com a espécie, a idade e condições de crescimento, é difícil fazer generalizações sobre o padrão sazonal de formação e, por este motivo, não se deve usar o termo anel de crescimento anual.

Nas angiospermas, os anéis de crescimento são formados por vasos, fibras e raios xilemáticos. As estruturas que mais se destacam são os vasos, que são tubos com células unidas orientadas verticalmente. Os poros podem ser distribuídos pelo lenho em anéis concêntricos, que possuem vasos do lenho inicial maiores que no lenho tardio e, por isso, são mais fáceis de visualizar, ou também podem ser distribuídos em poros difusos, que possuem vasos com tamanho semelhante ao longo de todo o anel, sendo algumas vezes mais difícil para se visualizar (FRITTS, 1976).

Já nas gimnospermas, os traqueídeos, células fusiformes com presença de pontuações, são os elementos predominantes nos anéis de crescimento. Formam o lenho inicial ou primaveril, crescimento da árvore no início do período vegetativo, no período que há crescimento mais acelerado, sendo lúmens mais largos e possuindo paredes celulares finas, o tecido é poroso, de baixa massa específica e mais claro. Com a aproximação do fim do período vegetativo, as células vão diminuindo sua atividade fisiológica e, então, a formação do lenho tardio ou outonal é dada por um crescimento mais lento, possuindo lúmens estreitos, achatados e com paredes espessas, é menos poroso, mais denso e mais escuro (FRITTS, 1976).

No entanto, é comum encontrarem-se em troncos, anéis de crescimento descontínuos, que não formam um círculo completo em torno da medula, os falsos

anéis de crescimento, quando se forma mais de um anel por período vegetativo, dificultando a determinação exata da idade da árvore (BURGER; RICHTER, 1991). Tais complicações surgem por vezes no processo de datação cruzada (STOKES; SMILEY, 1968).

Anéis de crescimento descontínuos ocorrem em decorrência do câmbio em uma ou mais regiões do tronco permanecerem em dormência durante uma ou várias estações de crescimento, ocorrendo principalmente em árvores velhas que apresentam copa assimétrica. Já os falsos anéis podem surgir devido à perda temporária de folhagem, ou devido a estímulo de crescimento fora de época, motivado por condições favoráveis, como uma primavera seca seguida de outono chuvoso, disponibilidade súbita de nutrientes, eliminação de indivíduos concorrentes, etc. (BURGER; RICHTER, 1991).

A determinação da taxa de crescimento de espécies arbóreas pela anatomia da madeira é uma técnica importante, especialmente em espécies que apresentam anéis anuais visíveis (AKACHUKU, 1984), e podem ser limitadas direta ou indiretamente por uma grande variedade de fatores ambientais e condições internas da árvore (FRITTS, 1976).

As relações que influenciam o crescimento da planta podem variar dependendo da condição de crescimento, das atividades relativas ao processo de controle e à condição ambiental a que a planta é submetida. As condições que limitam o processo fisiológico de uma árvore podem mudar de forma significativa ao longo do ano, de modo que determinado fator pode ser diretamente correlacionado com a largura do anel em um determinado período e inversamente correlacionado em outro momento (FRITTS, 1976). Além disso, os anéis de crescimento podem variar em largura.

A atividade cambial possui quatro principais condições limitantes que devem ser consideradas: temperatura do câmbio, estresse hídrico, substâncias reguladoras de crescimento e nutrição mineral. Qualquer um desses fatores, quando restritos à planta, podem afetar o início e o fim do período de crescimento ativo, a taxa de divisão celular e a expansão de células. Por sua vez, esses afetam o número e tamanho das células que são produzidas e, conseqüentemente, a largura do anel (FRITTS, 1976).

Ainda segundo o autor, as características não são afetadas por eventos climáticos apenas, mas também por condições internas, de idade e estrutura da

planta, de limitação do sítio e do potencial hereditário de cada árvore, sendo dependentes um do outro, não podendo ser avaliados separadamente.

A faixa etária da árvore está diretamente relacionada com o crescimento. Nos brotos, o crescimento acelera com o passar do tempo e, então, quando a árvore se torna madura, as condições ambientais e fisiológicas podem se tornar fatores limitantes para o seu crescimento. Já, quando a árvore é senil, o nível de crescimento se estabiliza. Assim, árvores jovens apresentam crescimento mais ativo que as senis (FRITTS, 1976).

Outros fatores afetam a largura dos anéis como, por exemplo, a duração do período vegetativo, luminosidade, manejo silvicultural, que inclui o espaçamento, o desbaste, a competição, etc (BURGER; RICHTER, 1991).

Com desbastes, há aceleração no crescimento em espessura, então os anéis se tornam mais largos, principalmente perto da base do fuste. Quando podadas, as árvores crescem mais em altura do que em espessura, então seus anéis se tornam mais estreitos. Com o sombreamento causado pela competição com árvores vizinhas, os anéis mais largos formados são os que estão menos sombreados, geralmente os que se localizam mais perto da copa (FRITTS, 1976).

Dessa forma, a partir dos anéis de crescimento podem-se fazer reconstruções de séries históricas das condições ambientais, bem como previsões de crescimento, para subsidiarem diversos estudos relacionados à conservação das florestas (FRITTS, 1976), no caso em que medições de diâmetro e altura da árvore não forem feitas anualmente durante a vida da árvore, podendo uma análise precisa das propriedades da madeira dar informações confiáveis sobre as taxas de crescimento do passado (AKACHUKU, 1984).

3.8 DENDROCRONOLOGIA

Reconhecido como o pai da Dendrocronologia, Andrew Ellicott Douglass, por volta de 1901, estudando as florestas do Arizona, percebeu que as árvores eram largamente espaçadas, enquanto em New England eram mais adensadas e com sub-bosque. Observou então, que o crescimento das florestas em New England era

influenciado principalmente pelo sombreamento e competição dentro da floresta, e no Arizona pela umidade (FRITTS, 1976).

Em 1911, após ter identificado um padrão de anéis largos e estreitos, com a datação cruzada, Douglass reconheceu que este procedimento poderia ser aplicado em áreas onde o anel de crescimento é frequentemente limitado pelo clima. Em 1937, inaugurou em Tucson, na Universidade do Arizona, o primeiro laboratório de pesquisa exclusivo para o estudo de anéis de crescimento (FRITTS, 1976).

Dendrocronologia é a ciência que determina a idade de árvores por meio de anéis de crescimento, em que o prefixo *dendron* vem do grego e significa árvore, e *chronology* é a ciência que lida com o tempo e a atribuição de datas para eventos particulares (FRITTS, 1976). Dentro da dendrocronologia, existem subáreas como dendroclimatologia, dendroecologia, dendrohidrologia, entre outras.

A idade de uma árvore da floresta temperada pode ser estimada pela contagem dos anéis de crescimentos da parte inferior do fuste, sendo que os padrões desses anéis, por meio de datação cruzada, podem ser comparados entre árvores para definir o exato ano em que o anel foi formado (FRITTS, 1976).

A análise de tronco (ANATRO) é uma técnica que possibilita o registro do crescimento passado de uma árvore por meio da medição dos seus anéis de crescimento (HUSCH *et al.*, 1982), de forma rápida e precisa, permitindo a realização de inferências sobre a produção futura da floresta (ENCINAS *et al.*, 2005).

A ANATRO pode ser completa ou parcial, em que no primeiro caso é retirado um determinado número de discos ao longo do tronco e quando a árvore não for abatida, é retirado apenas um rolo de incremento e a análise de tronco é parcial (FINGER, 1992).

Na análise de tronco completa em qualquer época pode-se reconstituir o desenvolvimento passado de uma árvore, sintetizando seu comportamento desde o estágio juvenil até o momento em que é realizada a análise (ENCINAS *et al.*, 2005).

3.9 EFEITO DA COMPETIÇÃO E DO DESBASTE NA QUALIDADE DA MADEIRA

Vários estudos têm procurado identificar quais os fatores que afetam as propriedades da madeira e mostram que esses podem ser inerentes à própria espécie

e também ao ambiente em que a árvore se desenvolve (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000).

De acordo com Shimoyama e Barrichelo (1989), o fator primordial capaz de alterar os padrões da formação, desenvolvimento e qualidade da madeira produzida é a natureza genética. Porém, quando o fator genético está associado a fatores ambientais ou à técnicas silviculturais pode ocorrer modificação nos padrões a tal ponto que as características anatômicas da madeira podem ser significativamente alteradas.

A massa específica da madeira é uma propriedade muito importante e fornece inúmeras informações sobre suas características, devido à sua íntima relação com outras propriedades, tornando-se um parâmetro muito utilizado para qualificá-la, nos diversos segmentos da atividade industrial. É o resultado de uma complexa combinação dos constituintes anatômicos (SILVA *et al.*, 2004).

De acordo com Brown *et al.* (1952) a massa específica é um importante fator na determinação das propriedades físicas e mecânicas que caracterizam diferentes tipos de madeira, e controla a amplitude das variações dimensionais que podem ocorrer na madeira com as mudanças no conteúdo de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras. Além disso, segundo Foelkel (1971), a determinação da massa específica básica, é uma maneira simples e prática de expressar a qualidade da madeira.

Segundo a NBR 7190, define-se o termo prático “densidade básica” da madeira como sendo a massa específica convencional/básica obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado em água. Ainda de acordo com a norma, a massa específica pode ser aparente, quando definida pela razão entre a massa e o volume com teor de umidade de 12% (ABNT, 1997).

Apesar da facilidade de obtenção dos valores da massa específica, deve-se atentar para a grande variabilidade dessa propriedade. As causas da alteração da massa específica podem ser indiretas, ou seja, por meio da modificação de outras características da própria madeira, em detrimento das características da espécie ou, então, da influência exercida pelo meio ambiente em que ela se desenvolve (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000).

Segundo Kollmann e Côté Júnior (1968), as variações da massa específica se devem às diferenças na estrutura anatômica da madeira e na quantidade de substâncias extrativas por unidade de volume, sendo essa estrutura relacionada à

espessura e tamanho da parede celular e à quantidade proporcional de diferentes tipos de células.

Segundo Panshin e De Zeeuw (1970), a massa específica pode variar entre gêneros, espécies do mesmo gênero, árvores da mesma espécie e, até mesmo, entre diferentes partes de uma mesma árvore.

Durante o crescimento da árvore, fatores ambientais e intrínsecos à própria espécie determinam o grau de variação da massa específica no sentido radial e longitudinal, podendo servir como parâmetro para separar a madeira em classes de qualidade em função da posição de onde é retirada a tora (KOLLMANN; CÔTÉ JÚNIOR, 1968). Brown *et al.* (1952) salientam que, por influenciar as propriedades básicas da madeira, a massa específica básica desempenha um papel importante na determinação da utilidade de um determinado tipo de madeira, ou mesmo de uma peça, para uma finalidade específica.

Com relação às variações da massa específica básica em coníferas, em geral ocorre aumento da medula para a casca, e diminuição com a elevação da altura no tronco (ELLIOTT, 1970). No entanto, vários fatores podem interferir nesse padrão.

Segundo Larson (1963), o percentual de lenho tardio é maior perto da base do fuste ou no meio e diminui em direção ao ápice do caule. Os padrões de distribuição percentual de lenho tardio no tronco podem variar, por sua vez, com o vigor da árvore, classe da árvore, sítio e localidade geográfica. Essa variação também pode ser alterada pelo tamanho e distribuição da copa. A proximidade da copa favorece a formação de lenho inicial, e ao longo do tronco, à medida em que aumenta a distância da copa em direção à base, aumenta a proporção de lenho tardio dentro do anel de crescimento.

O espaço disponível para as árvores crescerem pode ter profundos efeitos nas propriedades da madeira devido a influência no desenvolvimento da copa e do fuste. Assim, espaçamentos iniciais menores tendem a reduzir a quantidade de madeira juvenil, o desenvolvimento dos ramos e a conicidade do tronco. Em um povoamento em desenvolvimento, as copas das árvores elevam-se com a idade; a competição, assim como a rapidez e a altura com que a copa viva se afasta da base é fator determinante no tipo de madeira formada no fuste (LARSON, 1969).

Em povoamentos fechados, as árvores dominadas, com o tempo, vão sendo sombreadas e podem ser cobertas pelas copas de suas vizinhas, e o aumento progressivo dessa competição provoca redução no tamanho de sua copa e na

eficiência dos ramos, o que resulta em declínios na produção de madeira, assim como em mudanças na distribuição do crescimento ao longo do fuste e na largura dos anéis de crescimento (LARSON, 1963).

Ainda, de acordo com Larson (1963), em um povoamento fechado a porcentagem de lenho tardio varia conforme a classe e o desenvolvimento da copa. Assim, uma árvore dominante, com copa vigorosa, produzirá faixas relativamente largas de lenho inicial, porém se na mesma situação apresentar uma porção do fuste relativamente longa, isenta de galhos, podem produzir faixas largas de lenho tardio. Um decréscimo na classe sociológica geralmente é acompanhado por alterações na qualidade da madeira em conformidade com as alterações no desenvolvimento da copa e forma do fuste. Com exceção da supressão extrema, as árvores das classes inferiores dos estratos, normalmente possuem porcentagem de lenho tardio mais elevada e, portanto, uma madeira mais densa do que aquelas dos estratos superiores do mesmo povoamento.

O controle da densidade do povoamento quer pelo espaçamento inicial ou desbaste, ou uma combinação dos dois, são práticas silviculturais que influenciam fortemente o crescimento e formação da madeira da árvore. Assumindo que a disponibilidade de nutrientes e de água sejam semelhantes, as árvores individuais de estoque amplamente espaçado e/ou desbastado vão crescer mais rápido do que as árvores de locais lotados (MALAN, 1995).

Ainda, de acordo com Malan (1995), devido ao impacto que o desbaste exerce no desenvolvimento da copa e na taxa de crescimento, pode-se ter um efeito significativo sobre a formação de madeira. Isso pode resultar em um aumento da área de madeira juvenil, resultando uma madeira de baixa massa específica, além de alta retração longitudinal sob secagem, comprometendo a qualidade do produto final.

A prática do desbaste e desrama atuam por mecanismos semelhantes sobre o crescimento das árvores e formação dos lenhos, de forma que ambas as técnicas afetam a copa das árvores. A desrama limita o crescimento pela remoção direta da parte da copa viva e o desbaste diminui a competição entre copas, estimulando o crescimento (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989). Os desbastes atuam no crescimento das árvores remanescentes, criando maior disponibilidade de luz, água e sais minerais, com conseqüente aumento da taxa fotossintética. A desrama, com a retirada de parte da copa restringe a área foliar, reduz essa taxa dependendo da sua intensidade. Isto faz com que essas duas operações devam ser praticadas em sentido

complementar no controle da qualidade da madeira (SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989). Assim, o tamanho e a distribuição das copas podem ser alterados pelas práticas silviculturais (LARSON, 1963).

Em termos fisiológicos, um dos efeitos do desbaste é o aumento da eficiência do incremento e dos processos que controlam o crescimento, proporcionado pelas quantidades superiores de água, nutrientes e luz para a fotossíntese. Assim, o desbaste concentra a produção de madeira para menos árvores e, como regra geral, essas são selecionadas pela sua dimensão e potencial de crescimento, de acordo com a capacidade de produzir madeira com a qualidade desejada (MATTHEWS, 1963).

Quando submetidas a desbastes de grande intensidade, as árvores remanescentes apresentam a reação de transferir a energia produzida para o crescimento e para a adaptação à nova situação ambiental. Com isso, o crescimento logo após o desbaste é lento. Isso porque a árvore passa de uma situação de ambiente abrigado e em competição para uma condição de espaço livre, sujeita a ação dos ventos e com a arquitetura da copa e do tronco vulneráveis (COUTO, 1995).

O desbaste em um povoamento resulta em novas árvores dominantes, e o aumento das suas copas é geralmente acompanhado pelo aumento da porcentagem de lenho inicial e pela redução da qualidade, especialmente em árvores jovens. Em povoamentos mais velhos, tanto o lenho inicial como o lenho tardio podem aumentar simultânea e uniformemente, produzindo madeira com anéis largos, sem alteração na qualidade (PEREIRA; TOMASELLI, 2004).

Malan e Hoon (1992) concluíram que as práticas silviculturais destinadas a acelerar a taxa de crescimento não tiveram qualquer efeito prejudicial sobre as propriedades básicas da madeira, mas de fato reduzem a variabilidade dentro da árvore. Isto é uma consideração muito importante, uma vez que a falta de uniformidade é um dos mais importantes problemas do processamento da madeira.

A resposta ao desbaste depende do fator limitante que está sendo disponibilizado pela operação. Depende também da idade do povoamento, uma vez que desbastes precoces em povoamentos jovens deverão proporcionar padrões de qualidade de madeira muito diferentes do que os desbastes tardios em povoamentos mais velhos. Assim, os efeitos de cada desbaste devem ser considerados individualmente e toda regra geral traz consigo um conjunto de exceções que devem ser interpretadas com prudência (LARSON, 1969).

3.10 DISTRIBUIÇÃO DO INCREMENTO SOBRE O FUSTE

O problema de como o incremento em diâmetro e área seccional variam ao longo do fuste em diferentes alturas foi discutido por v. Guttenberg em 1915¹¹. De acordo com ele, a largura do anel anual dos fustes crescidos em povoamentos de *Picea abies*, diminui a partir da base do fuste para cima até atingir um mínimo em uma altura do tronco e, a partir daí, aumenta novamente da base da copa e dentro da copa. Portanto, tem-se o anel de máxima largura (e então o diâmetro de máximo incremento) da base e também do topo da árvore, com um mínimo em algum lugar entre eles (ASSMANN, 1970).

De acordo com Assmann (1970), em árvores jovens e de meia-idade, em que os incrementos de altura e volume são vívidos e vigorosos, grandes quantidades de substância lenhosa são adicionadas na parte superior da copa (alongamento e espessamento dos brotos) e na parte debaixo da copa, bem como diretamente abaixo da copa. Nesse processo, os anéis anuais na parte superior podem tornar-se tão grandes que o incremento de área de seção pode também, mais uma vez, aumentar notavelmente a partir de um mínimo na parte do meio do fuste para cima até um máximo na parte superior.

Já em árvores mais velhas, em que o incremento já desacelerou, ocorre um incremento máximo na base do caule; para cima, a partir daí, o incremento em área seccional primeiro diminui rapidamente, na parte do meio do fuste diminui de forma mais lenta, e na parte superior da copa diminui de novo rapidamente (ASSMANN, 1970).

No entanto, podem ocorrer alterações no padrão da distribuição do incremento ao longo do fuste. De acordo com Assmann (1970), o desbaste pesado, por disponibilizar as árvores mais antigas espaços livres de crescimento, causa alterações características da distribuição de incremento sobre o tronco da árvore. O autor cita que, de acordo com v. Guttenberg (1915), a distribuição do incremento em diâmetro do fuste de uma árvore antiga se torna substancialmente alterado após desbaste pesado, e o incremento das remanescentes é inevitavelmente deslocado

¹¹ GUTTENBERG, A. V. *Österreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen*, v. 33, 217 p., 1915.; GUTTENBERG, A. V. *Wachstum u. Ertrag. d. Fichte i. Hochgebirge* (Vienna and Leipzig), 1915.

para a parte inferior do fuste, não se distribuindo igualmente sobre o tronco, o que a torna mais cônica e estável.

Essa tendência de mais rápido crescimento radial nas partes inferiores do caule continua ao longo de toda a vida de árvores, às quais é oferecido espaço livre para crescimento (ASSMANN, 1970). Assim, com o aumento da competição ocorre redução do incremento nas partes inferiores do fuste.

A posição sociológica a que pertence a árvore também influi sobre a distribuição do incremento. Nas árvores dominantes, pouco influenciadas pela concorrência, ocorrem altos valores de incremento em diâmetro na base, os quais diminuem acentuadamente à medida que aumenta a altura, fazendo com que o tronco adquira um formato parabolóide (GUTTENBERG, 1915¹² *apud* ASSMANN, 1970). Já em árvores médias ou dominadas, sujeitas intensamente à competição, há uma tendência em depositar maior incremento nas posições superiores do fuste, de tal maneira que elas atinjam uma forma mais cilíndrica (ASSMANN, 1970).

O crescimento no final da estação de crescimento é mais rápido nas porções mais altas que nas mais baixas do caule, os tecidos jovens apresentam maiores taxas de crescimento que os mais velhos e algumas dessas variações são provenientes de condições genéticas da planta. Os fatores ambientais afetam as taxas de incremento do caule, porque podem ser fatores limitantes, por causarem perda de água ou deficiência em sua absorção (FRITTS, 1976).

3.11 CRESCIMENTO

O crescimento pode ser definido como uma mudança de magnitude de qualquer característica mensurável, como diâmetro, altura, volume, peso, biomassa, etc., sendo o ritmo do crescimento influenciado por fatores internos (fisiológicos), externos (ecológicos) e pelo tempo. Esse último sempre vai atrelado ao crescimento e o que cresce em uma árvore em períodos sucessivos de tempo, é o que se denomina de incremento (ENCINAS *et al.*, 2005).

¹² GUTTENBERG, A. V. *Österreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen*, v. 33, 217 p., 1915. ; GUTTENBERG, A. V. *Wachstum u. Ertrag. d. Fichte i. Hochgebirge* (Vienna and Leipzig), 1915.

Segundo Scolforo (2006), existem diferentes maneiras para expressar o crescimento, podendo-se citar o incremento corrente anual (ICA), o incremento médio anual (IMA), o incremento periódico (IP) e o incremento periódico médio (IPM), seja ele anual (IPA), mensal (IPM), semanal (IPS), ou diário (IPD), sendo que o ICA é o crescimento ocorrido ou a diferença na produção do elemento dendrométrico considerado dentro do período de um ano; o IMA é a razão entre a produção a partir do ano zero e a idade da população florestal ou da árvore; IP é o crescimento considerado durante um determinado período no tempo; e o IPA é a média do crescimento da árvore ou da população florestal obtida a partir do incremento periódico, se a escala temporal de medição é em anos.

A curva de crescimento possui forma sigmoidal, em que a primeira fase corresponde à idade juvenil, a segunda à idade madura e a terceira à idade senil. Cada fase mantém um ritmo de crescimento característico da vida da árvore e juntos eles formam a curva de crescimento (ENCINAS *et al.*, 2005). Assim, a curva começa do ponto zero, com crescimento lento, passa a ser mais íngreme até um ponto de inflexão, aproximando-se da assíntota (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

A partir das curvas de tendência de incrementos é possível planejar a condução da floresta com vista ao manejo da produção florestal (ENCINAS *et al.*, 2005).

De acordo com Assmann (1970) a curva de ICA, ou curva diferencial, ou ainda primeira derivada da curva de crescimento, é obtida com os valores correspondentes ao crescimento de cada ano da árvore, apresentando dois pontos de inflexão e um ponto de máximo incremento que coincide com o ponto de inflexão da curva de produção (FIGURA 1).

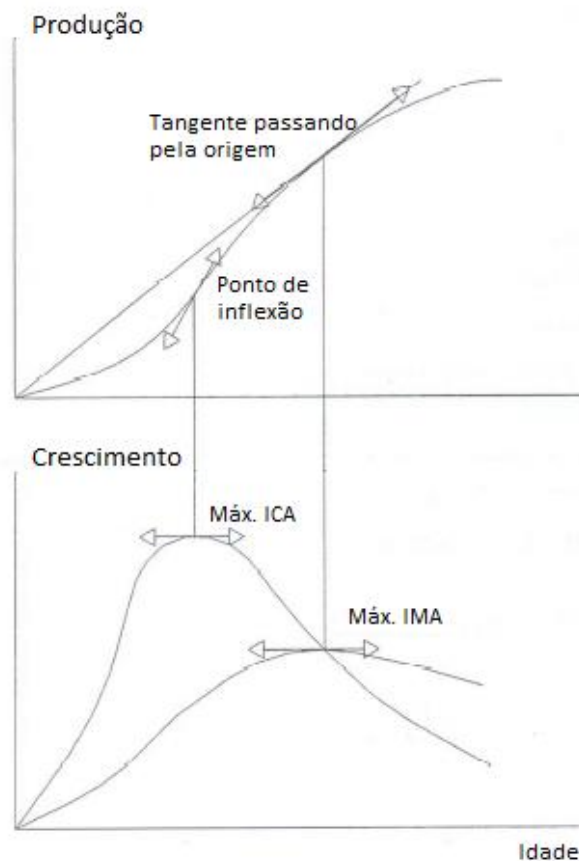


FIGURA 1 - CURVAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO
 FONTE: Scolforo, 2006

No momento em que as curvas de ICA e IMA se cruzam, onde o ICA torna-se igual ao IMA, tem-se o valor máximo de IMA e também o ponto de máxima tangência na curva de produção, sendo que, a partir daí, a produção da árvore tende ao valor assintótico (ASSMANN, 1970).

3.12 MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE ÁRVORES

Os modelos de crescimento e produção na área florestal permitem simular a dinâmica natural do povoamento, de modo a prever sua produção ao longo do tempo, sob hipóteses de exploração ou quando sujeito a agentes físicos e bióticos distintos (VANCLAY, 1994). Sendo assim, esses modelos auxiliam nas pesquisas e no manejo das florestas de várias formas, incluindo a possibilidade da predição de produção em tempos futuros, partindo das condições atuais.

Há uma extensa literatura no que diz respeito a modelos de crescimento de florestas homogêneas e equiâneas (CAMPOS; LEITE, 2009). Segundo Davis e Johnson (1987), os modelos de crescimento e produção se classificam em modelos de povoamento total, modelos por classes de tamanho ou diâmetro e modelos para árvores individuais. Nos modelos para o povoamento total, o povoamento é tomado como unidade básica para modelagem; nos modelos de classes de tamanho, empregam-se classes (de diâmetro, de altura, etc.) como unidades básicas; já nos modelos para árvores individuais, a árvore é a unidade básica.

Os modelos para árvore individual simulam cada indivíduo com relação ao estabelecimento, crescimento e mortalidade, e a soma das estimativas de cada árvore resulta na produção do povoamento (VANCLAY, 1994). São importantes no planejamento florestal, uma vez que fornecem informações detalhadas sobre a estrutura e dinâmica do povoamento, incluindo a distribuição de volume por classe de tamanho (CLUTTER *et al.*, 1983). Nesses modelos, não é mais o povoamento a unidade de prognose, mas sim cada árvore individual.

A partir de um modelo de árvore individual pode-se estimar o crescimento dimensional para uma idade futura a partir de um valor da variável na idade atual e de variáveis como o índice de competição, idade, índice de sítio, dentre outras. Pode-se desenvolver a modelagem do crescimento por meio do crescimento potencial, em geral avaliado a partir de árvores em crescimento livre (sem competição) ou árvores dominantes (VANCLAY, 1994).

Os modelos de crescimento em nível de árvore individual são mais complexos e de difícil construção, quando comparados aos modelos em nível de povoamento ou modelos de classe de tamanho, porque são constituídos por vários submodelos que estimam o crescimento em diâmetro, crescimento em altura, crescimento em volume e concorrência entre as árvores. Além disso, muitos modelos apresentam variáveis de difícil medição e avaliação, como variáveis relacionadas às medições das copas das árvores (DANIELS *et al.*, 1986).

Em função do tipo de índice de concorrência utilizado, os modelos de crescimento para árvores individuais são divididos em dois principais grupos: os modelos dependentes de distância ou modelos espaciais, e os modelos independentes de distância, ou não espaciais. Para os modelos espaciais, são necessários dados de sua localização no terreno, coordenadas geográficas, por exemplo, ou distância entre as árvores (VANCLAY, 1994).

Com a inclusão da distância nos modelos, esperar-se-ia uma melhor precisão em relação aos modelos independentes da distância, no entanto, muitos trabalhos como os de Lorimer (1983), Daniels *et al.* (1986), Biging e Dobbertin (1995), entre outros, foram realizados comparando os dois tipos de modelos, não tendo sido observada superioridade dos modelos dependentes da distância.

Para *Araucaria angustifolia*, existem estudos em nível de povoamento, como na tabela de produção proposta por Schneider *et al.* (1992) para povoamento homogêneo equiâneo. Para povoamentos inequiâneos pode-se citar o estudo do crescimento em função da idade realizado por Hess *et al.* (2009). Em ambos, as estimativas foram baseadas em valores médios do povoamento, com objetivo de planejamento da produção e prognose do crescimento.

REFERÊNCIAS

ARNEY, J. D. Tables for Quantifying Competitive Stress on Individual Trees. Information Report BC-X-78, **Canadian Forestry Service**, Pacific Forest Research Centre, Victoria, B. C. 1973.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

AKACHUKU, A. E. The effects of some internal and external factors on growth rate of *Lovoa trichilioides* deduced from its wood anatomy. **IAWA**, v. 5, n. 1, p. 75-80, 1984.

BELLA, I. E. A new competition model for individual trees. **Forest Science**, v. 17, n. 3, p. 364-372, 1971.

BIGING, G. S.; DOBBERTIN, M. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. **Forest Science**, v. 38, n. 3, p. 695-720, 1992.

BIGING, G. S.; DOBBERTIN, M. Evaluation of Competition Indices in Individual Tree Growth Models. **Forest Science**, v. 41, n. 2, p. 360-377, 1995.

BRASIL. Presidência da República. **Comissão Interministerial para Preparação da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. O desafio do desenvolvimento sustentável. Brasília: CIMA, 1991. 204 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC: Decreto-lei n. 9985 de 18 de julho de 2000. **Diário Oficial [da] da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 32 p. 2000.

BROWN, H. P.; PANSIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology**. New York/Toronto/London: McGraw-Hill Book Company, 1952. v. 2. 783 p.

BROWN, C. L. Secondary growth. In: ZIMMERMANN, M. H.; BROWN, C. L. **Trees: Structure and Function**. New York: Springer-Verlag, 1974. p. 67-123.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CALDATO, S. L.; FLOSS, P. A.; CROCE, D. M.; LONGHI, S. J. Estudo da regeneração natural, banco de sementes e chuva de sementes na Reserva Genética de Caçador, SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 27-38, 1996.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 407 p., 2009.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, 2003. 1039 p.

CHATURVEDI, A. N.; KHANNA, L. S. **Forest mensuration**. Dehra Dun: International Book Distributors, 1982. 406 p.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management: A quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 333 p.

CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 1939-1949, 2011.

COUTO, H. T. Z. Manejo de florestas e suas utilizações em serraria. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais**. Piracicaba: IPEF; IPT; IUFRO; ESALQ, 1995. p. 20-30.

DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal Forest Research**, Vancouver, v. 16, p. 1230-1237, 1986.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1987. 790 p.

DELLA-FLORA, J. B.; DURLO, M. A.; SPATHELF, P.; Modelo de incremento para árvores singulares – *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 165-177, 2004.

DIETRICH, A. B. **Relações entre dados analíticos do solo: análise foliar e dados de crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.

DUARTE, L. S.; DILLENBURG, L. R. Ecophysiological responses of *Araucaria angustifolia* seedlings to different irradiance levels. **Australian Journal of Botany**, v. 48, n. 4, p. 531-537, 2000.

DUARTE, L. S.; DILLENBURG, L. R.; ROSA, L. M. G. Assessing the role of light availability in the regeneration of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae). **Australian Journal of Botany**, v. 50, n. 6, p. 741-751, 2002.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C.; SPATHELF, P. Perspectivas do manejo florestal por árvores singulares. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 20, p. 71-82, 2000.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149, 2001.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrella fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 79-89. 2004.

ELLIOTT, G. K. **Wood Density in Conifers**. Oxford: Commonwealth Agricultural Bureaux. 1970. 44p. (Commonwealth Forestry Bureau, Technical Communication, n. 8).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina**. Curitiba: CNPF - EMBRAPA, 1988. 113 p.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Florestal, 2005. 43 p. (Comunicações Técnicas Florestais; v.7, n.1).

ENRIGHT, N. J.; RIGG, L.; JAFFRE, T. Environmental controls on species composition along a (maquis) shrubland to forest gradient on ultramafics at Mont Do, New Caledonia. **South African Journal of Science**, v. 97, p. 573-580, 2001.

FINGER C. A. G. **Fundamentos da biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992, 269 p.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, n. 2/3, p. 65-74, 1971.

FRIEDL, R. A. **Dinâmica e prognose da forma dos fustes em povoamentos plantados de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

FRITTS, H. C. **Tree Rings and Climate**. London: Academic Press. 1976. 567 p.

FUPEF - Fundação de Pesquisas florestais do Paraná. **Inventário florestal do pinheiro no sul do Brasil**: relatório final. Curitiba, FUPEF/IBDF, 1978. 199 p.

GLOVER, G. R.; HOOL, J. N. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. **Forest Science**, v. 25, n. 2, p. 275-282, 1979.

HASENAUER, H. Dimensional relationships of open-grown trees in Austria. **Forest Ecology and Management**, v. 96, p. 197-206, 1997.

HEGYI, F. A simulation model for managing jack-pine stands. In: FRIES, J. **Growth models for tree and stand simulation**. Stockholm Sweden: Royal College of Forestry, 1974. p. 74-90.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, p. 7-22, 2009.

HILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London: Faber and Faber, 1959. 123 p.

HOOGH, R. J. **Site-nutrition-growth relationships of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze in southern Brazil**. 161p. Tese (Doutorado) – Universidade de Freiburg, Freiburg, 1981.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul: ecologia, composição e importância econômica**. São Paulo: Polígono, 1972. 466 p.

HUSCH, B.; MILLER, I. C.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York: John Wiley, 1982. 402 p.

INOUE, M. T.; GALVÃO, F.; TORRES, D. V. Estudo ecofisiológico sobre *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.: Fotossíntese em dependência à luz no estágio juvenil. **Floresta**, Curitiba, v. 10, n.1, p. 5-9, 1979.

INOUE, M. T.; RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S. **Projeto Madeira do Paraná**. Curitiba: FUPEF-UFPR, 1984. 260 p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer Verlag, 2v. 1968.

KRAMER, P. J.; KOSLOWSKI T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 745 p.

KRUMM, F.; KULAKOWSKI, D.; RISCH, A.C.; SPIECKER, H.; BRÄNDLI, U. B.; BEBI, P. Stem exclusion and mortality in unmanaged subalpine forests of the Swiss Alps. **European Journal of Forest Research**, v. 131, p. 1571-1583, 2012.

LARSON, P. R. Evaluating the environment for studies of the inheritance of wood properties. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST AND TREE IMPROVEMENT, 1., 1963, Stockholm. **Proceedings**. Rome: FAO, 1963. p. 1-6.

LARSON, P. R. **Wood formation and the concept of wood quality**. Yale University, School of Forestry, 1969. 53 p. (Bulletin n. 74).

LARSON, P. R.; KRETSCHMANN, D. E.; CLARK, A. III; J. G. ISEBRANDS. **Formation and properties of juvenil wood in Southern Pines: a synopsis**. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-129. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 42 p. 2001.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.

LEDERMAN, T. Evaluating the performance of semi-distance-independent competition indices in predicting the basal area growth of individual trees. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 40, p. 796-805, 2010.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 4. ed. v.1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 368 p.

LORIMER, C. G. Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, v. 6, p. 343-360, 1983.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2ªed. Rio de Janeiro; Curitiba: J. Olympio: Secretaria de Estado da Cultura e do Esporte, 1981. 450 p.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989. 418 p.

MAGNUSSEN, S. A method to adjust simultaneously for spatial microsite and competition effects. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, p. 985-995, 1994.

MALAN, F. S.; HOON, M. Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, n. 163, p. 13-20, 1992.

MALAN, F. S. Eucalyptus improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF; IPT; IUFRO; LCF/ESALQ/USP, 1995. p. 1-19.

MANTOVANI, A.; MORELLATO, L. P. C.; REIS, M. S. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 787-796, 2004.

MATTHEWS, J. D. Some applications of genetics and physiology in thinning. **Forestry**, v. 36, n. 2, p. 172-180, 1963.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do município de Cândói, PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 153-156, 2007a. Nota científica.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Crescimento de *Araucaria angustifolia* na Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 55, p. 107-114, 2007b. Nota científica.

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; BERNDT, E. J.; OLIVEIRA, Y. M. M. **Equação de volume para araucárias centenárias da Reserva Florestal Embrapa/Epagri**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 256).

MELLO FILHO, J. A.; STOEHR, G. W. D.; FABER, J. Determinação dos danos causados pela fauna a sementes e mudas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze nos processos de regeneração natural e artificial. **Floresta**, Curitiba, v.12, n.1, p.26-43, 1981.

MULLER, J. A.; MACEDO, J. H. P. Notas preliminares sobre danos causados por animais silvestres em pinhões. **Floresta**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 35-41, 1980.

NARVAES, I. S.; BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Estrutura da regeneração natural em Floresta Ombrófila Mista na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 331-342, 2005.

NEGRELLE, R. R. B.; LEUCHTENBERGER, R. Composição e estrutura do componente arbóreo de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, Curitiba, v. 31, n. 1 2, p. 42-50, 2001.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 9-25, 2001.

NUTTO, L.; TONINI, H.; BORSOI, G. A.; MOSKOVICH, F. A.; SPATHELF, P. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 42, p. 109-122, 2001.

OLIVEIRA, J. M.; SANTAROSA, E.; PILLAR, V. D.; ROIG, F. A. Seasonal cambium activity in the subtropical rain forest tree *Araucaria angustifolia*. **Trees**, v. 23, p. 107-115, 2009.

OLIVEIRA, J. M.; ROIG, F. A.; PILLAR, V. D. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. **Austral Ecology**, v. 35, p. 134-147, 2010.

ORELLANA, E. **Sucessão florestal, regimes de manejo e competição avaliados por modelos de árvore individual em um fragmento de floresta de araucária**. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PALUDO, G. F.; MANTOVANI, A.; KLAUBERG, C.; REIS, M. S. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), na Reserva Genética Florestal de Caçador, estado de Santa Catarina. **Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1109-1121, 2009.

PALUDO, G. F.; MANTOVANI, A.; REIS, M. S. Regeneração de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae). **Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1107-1119, 2011.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of Wood Technology**. 3 th. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970. 705p.

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **897 madeiras nativas do Brasil: anatomia - dendrologia - dendrometria - produção - uso**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2007. 438 p.

PEREIRA, J. C. D.; TOMASELLI, I. A Influência do Desbaste na Qualidade da Madeira de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 49, p. 61-81. 2004.

PIUTTI, E.; CESCATTI, A. A quantitative analysis of the introductions between climatic response and intraspecific competition in European beach. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 27, p. 277-284. 1997.

PLAUBORG, K. U. Analysis of radial growth responses to changes in stand density for four tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 188, p. 65-75, 2004.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura florestal**. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1997. 561 p.

RADTKE, P. J.; WESTFALL, J. A.; BURKHART, H. E. Conditioning a distance dependent competition index to indicate the onset of inter-tree competition. **Forest Ecology and Management**, v. 175, p. 17-30, 2003.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira de Santa Catarina**. Itajaí: SUDESUL: Herbário "Barbosa Rodrigues", 1978. 320 p.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul.: **Sellowia**, Itajaí, n. 34/35, 1983, 525 p.

RIGG, L. S.; ENRIGHT, N. J.; JAFFRE, T. Stand structure of the emergent conifer *Araucaria laubenfelsii* in maquis and rainforest, Mont Do, New Caledonia. **Australian Journal of Ecology**, v. 23, n. 6, p. 528-538, 1998.

SALANTE, L.; Formação de floresta nativa por manejo de regeneração natural e adensamento com *Araucaria angustifolia*. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 6., 1988. Nova Prata/RS. **Anais...** Nova prata, v. 1, 1988. p. 175-182.

SANQUETTA, C. R.; PIZATTO, W.; PÉLLICO NETTO, S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; EISFELD, R. L. Estrutura vertical de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Centro-sul do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 267-276, 2002.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; VULCANIS, L.; BERNI, D. M. Sobrevivência de mudas de *Araucaria angustifolia* perante o controle de taquaras (Bambusoideae) no Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n.1, p. 127-135, 2005.

SANTOS, A. T. **Análise do crescimento e simulação de manejo de um plantio de *Ocotea porosa***. 93 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HOPPE, J. M. Produção de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. na região do planalto médio do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 99-118, 1992.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo Sustentado de Florestas Inequiâneas Heterogêneas**. Santa Maria: UFSM, 2000. 195 p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2ª ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: Modelos de Crescimento e Produção Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal: Florestas Plantadas e Nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2007. 690 p.

SEITZ, R. A.; KANNINEN, M. Tree ring analysis of *Araucaria angustifolia* in Southern Brazil: preliminary results. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 2, p. 170-174, 1989.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. Série Técnica – **IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-22, 1989.

SILVA, J. A.; SALOMÃO, A. N.; GRIPP, A.; LEITE, E. J.; Phytosociological survey in Brazilian forest Genetic Reserve of Caçador. **Plant Ecology**, v. 133, p. 1-11, 1997.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JUNIOR, S.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

SOARES, R. V. Considerações sobre a regeneração natural da *Araucaria angustifolia*. **Floresta**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 12-18, 1979.

SOUZA, A. F.; FORGIARINI, C.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Regeneration patterns of a long-lived dominant conifer and the effects of logging in southern South America. **Acta Oecologica**, v. 34, p. 221-232, 2008.

SPIECKER, H. Tree rings and forest management in Europe. **Dendrochronologia**, v. 20, n. 1-2, p. 191-202, 2002.

STAGE, A. R.; LEDERMANN, T. Effects of competitor spacing in a new class of individual-tree indices of competition: semi-distance-independent indices computed for Bitterlich versus fixed-area plots. **Canadian Journal of Forest Research**, Vancouver, v. 38, n. 4, p. 890-898, 2008.

STOKES, M. A. SMILEY, T. L. **An introduction to tree-ring dating**. Chicago: The University of Chicago Press, 1968. 73 p.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.

TONINI, H. **Índice de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das árvores**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2007. 30 p. (Documentos / Embrapa Roraima; 8).

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests** Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.

WIMBERLY, M. C.; BARE, B. B. Distance-dependent and distance-independent models of Douglas-fir and western hemlock basal area growth following silvicultural treatment. **Forest Ecology and Management**, v. 89, p. 1-11, 1996.

CAPÍTULO I

COMPETIÇÃO EM POVOAMENTO SUPERESTOCADO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

RESUMO

Objetivou-se com o presente estudo avaliar e relacionar variáveis dendrométricas e morfométricas; determinar a densidade máxima de árvores.ha⁻¹, com base na área de projeção de copa, e selecionar índices de competição que mais se correlacionam com o diâmetro atual e, conseqüentemente, com o crescimento diamétrico, em um plantio superestocado de *Araucaria angustifolia*. O plantio, localizado na Floresta Nacional de Açungui, Campo Largo, PR, foi estabelecido em 1946, com espaçamento inicial 2 m x 2 m, e se encontra atualmente sob intensa competição devido à falta de manejo. Foram estabelecidas 46 unidades amostrais, adaptando-se o Método de Prodan. No centro de cada unidade foi selecionada uma árvore objetivo, representando classes de diâmetro com intervalo de 10 cm, variando de 10 a 70 cm. Foram identificadas as árvores competidoras, considerando aquelas cujas copas estivessem em contato com a copa da árvore objetivo. Registrou-se a posição e a distância de cada árvore competidora em relação à sua objetivo. O raio entre a árvore objetivo, considerada como centro da unidade, e o centro da sua competidora mais distante foi utilizado para determinar a área da unidade amostral. Foram obtidas variáveis dendrométricas e morfométricas, sendo estabelecidas correlações de Pearson. A densidade máxima de árvores.ha⁻¹ foi determinada utilizando-se a área de projeção de copa. Para avaliar o status competitivo de cada árvore objetivo foram utilizados índices de competição independentes e dependentes da distância, incluindo-se índices de área de copa. Para o cálculo da área de sobreposição de copa, as árvores amostradas foram georreferenciadas no ArcGis. Para avaliar os índices de competição foi calculada a correlação simples dos índices com o dap e a significância das correlações pelo teste *t*, sendo feita na sequência a seleção prévia de modelos de regressão. Obteve-se uma média de 280,3 árvores.ha⁻¹, com área basal média de 29,6 m².ha⁻¹ e dap médio de 37,0 cm. Todas as variáveis dendrométricas e morfométricas avaliadas apresentaram correlação significativa com o dap, sendo a de maior correlação o diâmetro de copa (*r*=0,87), justificando o cálculo da densidade máxima de árvores com base na área de projeção de copa. Atualmente, o número de árvores é superior ao desejado, sugerindo-se um desbaste mínimo de 30%, de acordo com o dap médio atual do povoamento e espaço vital ideal. Os índices independentes da distância, de maneira geral, tiveram melhor desempenho que os dependentes da distância. No entanto, como o arranjo do povoamento foi modificado com a realização de desbaste, mortalidade e regeneração natural, a inclusão da distância para avaliar a competição deve ser levada em consideração.

Palavras-chave: espaço vital; índice de competição; distância entre árvores.

CHAPTER I

COMPETITION IN AN OVERSTOCKED STAND OF *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

ABSTRACT

In this study it was aimed to evaluate and correlate dendrometric and morphometric variables; determine the maximum density of trees.ha⁻¹ based on the crown projection area and to select competition indices, identifying the ones that are more related to the current diameter and consequently to the diameter growth, in an overstocked plantation of *Araucaria angustifolia*. The planting is located in the National Forest of Açungui, Campo Largo, PR, Brazil, and it was established in 1946, in initial spacing of 2 m x 2 m. Nowadays it is under intense competition due to lack of management. Prodan method was adapted to establish 46 sampling units. At the center of the unit was an objective tree, representing diameter classes with an interval of 10 cm, ranging from 10 to 70 cm. The competitor trees were identified, considering those whose crowns were in contact with the crown of the objective tree. The position and distance of each competitor tree according to its objective tree were recorded. The radius between the objective tree, considered the center of the unit, and its most distant competitor tree was used to determine the sample unit area. Dendrometric and morphometric variables were obtained, and it was established Pearson correlations. The maximum density of trees.ha⁻¹ was determined based on the crown projection area. To evaluate the competitive status of each objective tree it was used competition indices independent and dependent on distance, including crown area indices. To calculate the area of crown overlap, the sampled trees were georeferenced by ArcGIS. To assess the competition indices it was calculate the simple correlation of the indices and the dbh and the significance of the correlations by t test. Then, the selection of regression models was performed. It was obtained an average of 280.3 trees.ha⁻¹, with average basal area of 29.6 m².ha⁻¹ and average dbh of 37.0 cm. All dendrometric and morphometric variables evaluated were significantly correlated with the dbh. The crown diameter of the presented the highest correlation ($r = 0.87$), justifying the calculation of the maximum density of trees based on crown projection area. Currently the number of trees is higher than desired, suggesting a minimum initial thinning of 30%, according to the current dbh of the stand and the ideal growing space. The independent distance indices presented better performance than the dependent indices. However, as the arrangement of the stand was modified by the conducted thinning, mortality and natural regeneration, the inclusion of the distance to evaluate the competition should be taken into consideration.

Key words: growing space; competition index; distance between trees.

1 INTRODUÇÃO

Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. foi explorada sem nenhuma preocupação desde o século XIX. Como uma alternativa frente à redução das florestas de araucária, aliada às crescentes necessidades de madeira, houve incentivos fiscais para a reposição das florestas regulamentadas no sul do Brasil, por meio de leis, decretos e portarias (FUPEF, 1978). No estado do Paraná, os primeiros plantios tiveram início com as atividades do Instituto Nacional do Pinho em torno de 1945 e, na iniciativa privada com a Klabin Celulose e Papel S/A (DIETRICH, 1979), atingindo o auge com o surgimento dos incentivos fiscais na década de 1960.

Diversos problemas surgiram com a implantação dos povoamentos, podendo-se ressaltar os relacionados com o armazenamento de sementes, técnicas inadequadas de viveiro, tratamentos culturais inadequados, falta de manejo dos povoamentos, plantio em sítios inadequados, de forma a perder força devido à concorrência das espécies exóticas, menos exigentes em relação a fatores edáficos e com períodos de rotação mais curtos (DIETRICH, 1979). Inoue *et al.* (1979) enfatizaram que a grande maioria dos povoamentos implantados de *Araucaria angustifolia* não apresentavam o desenvolvimento esperado para a espécie devido a complexidade do manejo silvicultural da mesma.

Poucas áreas com plantio de *Araucaria angustifolia* progrediram em virtude do mau planejamento e condução destes reflorestamentos (GUERRA *et al.*, 2002), havendo drástica redução de implantação de novos reflorestamentos da espécie. Assim, plantios existentes hoje apresentam crescimento baixo e estagnado, por não terem sido submetidos a práticas de manejo adequadas, no entanto, apresentam-se como grande oportunidade para compreender as limitações impostas pela competição entre árvores, e determinar regimes de desbaste, para subsidiar a tomada de decisão do gestor florestal.

De acordo com Schneider e Schneider (2008), a competição talvez seja o fator biológico mais importante no manejo florestal, já que quase todas as intervenções estão relacionadas com a manipulação desse fator ou de condições que o afetam.

O conhecimento do comportamento, formas e dimensões da copa de árvores que cresceram livres, não sofrendo qualquer tipo de concorrência, é importante para o manejo e intervenções silviculturais, quando essas estiverem crescendo em maciços

florestais, uma vez que a área de projeção de copa permite que se conheça o espaço ocupado por uma árvore (DURLO *et al.*, 2004), buscando-se possibilidades de serem desenvolvidos modelos matemáticos que expressem o crescimento em povoamentos florestais.

De acordo com Stage (1973) muitas das funções de crescimento que têm sido úteis para prever a taxa de crescimento de uma árvore individual incluem as variáveis que descrevem o estado da competição da árvore objetivo em relação às árvores circundantes que compõem o povoamento florestal.

Dentre os modelos de crescimento e produção, aqueles em nível de árvore individual são complexos uma vez que são constituídos por vários submodelos. Além disso, muitos apresentam variáveis relacionadas às medições das copas das árvores (DANIELS *et al.*, 1986).

De acordo com Vanclay (1994) com os modelos em nível de árvore individual, pode-se estimar o crescimento dimensional para uma idade futura a partir de um valor da variável na idade atual e de variáveis como o índice de competição, idade, índice de sítio, dentre outras, e realizar a modelagem do crescimento por meio do crescimento potencial, em geral avaliado a partir de árvores em crescimento livre (sem competição) ou árvores dominantes.

Os modelos de crescimento para árvores individuais são divididos em função do tipo de índice de competição utilizado, sendo independentes ou dependentes da distância. Nos índices dependentes da distância, as árvores competidoras são identificadas levando-se em conta seu tamanho e distância em relação a uma árvore objetivo (WIMBERLY; BARE, 1996). Esses modelos podem levar ou não em conta a evolução da copa das árvores.

Muitas variáveis com potencial de predição e combinações de variáveis foram avaliadas por Glover e Hool (1979), que buscaram uma característica da árvore individual facilmente mensurada ou característica de árvores dentro de uma pequena área para ser um indicador da concorrência e que não apresentasse custo elevado para sua obtenção.

Ao longo dos anos, muitos índices de competição dependentes e independentes da distância surgiram, foram estudados e comparados, no entanto apesar dos avanços obtidos, disponibilizando índices de variados níveis de complexidade, não há um consenso sobre a superioridade de algum, uma vez que a

habilidade preditiva varia de acordo com a espécie e com as condições do povoamento em estudo.

Assim, os objetivos deste capítulo foram: Avaliar e relacionar as variáveis dendrométricas e morfométricas em um plantio superestocado de *Araucaria angustifolia*; Determinar a densidade máxima de árvores por hectare, para que possam se desenvolver sem limitação de espaço vital, com base na área de projeção de copa; e Estimar, avaliar e selecionar índices de competição independentes e dependentes da distância, incluindo índices de área de copa, para o povoamento em estudo, e identificar os que mais se correlacionam com o diâmetro atual e consequentemente, com o crescimento diamétrico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido na Floresta Nacional (FLONA) de Açungui, localizada no município de Campo Largo, PR, (25°27'31"S, 49°31'42"O), a uma altitude média de 956 metros.

Os solos predominantes na região são do tipo Cambissolo Háplico Distrófico Típico. Apresenta relevo bastante acidentado, tal como ocorre em toda a região, de onde nascem afluentes do rio Açungui (INVENTÁRIO..., 2012).

Segundo Rotta e Oliveira (1981) na classificação climática de Koeppen, a zona de estudo é representada pelo tipo Cfb baseada na ação conjunta de temperatura e precipitação pluvial, sendo C equivalente a climas pluviais temperados, mês mais frio entre + 18 °C e - 3 °C; f por ser sempre úmido, com chuva todos os meses do ano; e b porque a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22 °C. A temperatura média anual varia entre 12° e 18 °C, com geadas frequentes no inverno, e a precipitação média anual é de 1.250 mm a 2.500 mm, com distribuição uniforme durante todo o ano.

A FLONA de Açungui tem área de 719,32 hectares, dos quais 400,18 hectares são povoamentos de *Araucaria angustifolia*, plantados nas décadas de 1940 e 1950, 293 hectares de florestas nativas, em diferentes estágios sucessionais de vegetação e, conta também com pequenos plantios com *Pinus* sp., *Eucalyptus* sp., *Cupressus* sp. (INVENTÁRIO..., 2012).

Para o presente estudo foi selecionada uma área com plantio de *Araucaria angustifolia* realizado em 1946, com espaçamento inicial de 2 x 2 metros, contando inicialmente com 2.500 árvores.ha⁻¹, correspondente aos talhões iniciais de números 10 e 11, com áreas de 72,8 ha e 58,5 ha respectivamente, totalizando uma área de 131,30 ha (FIGURA 1.1).

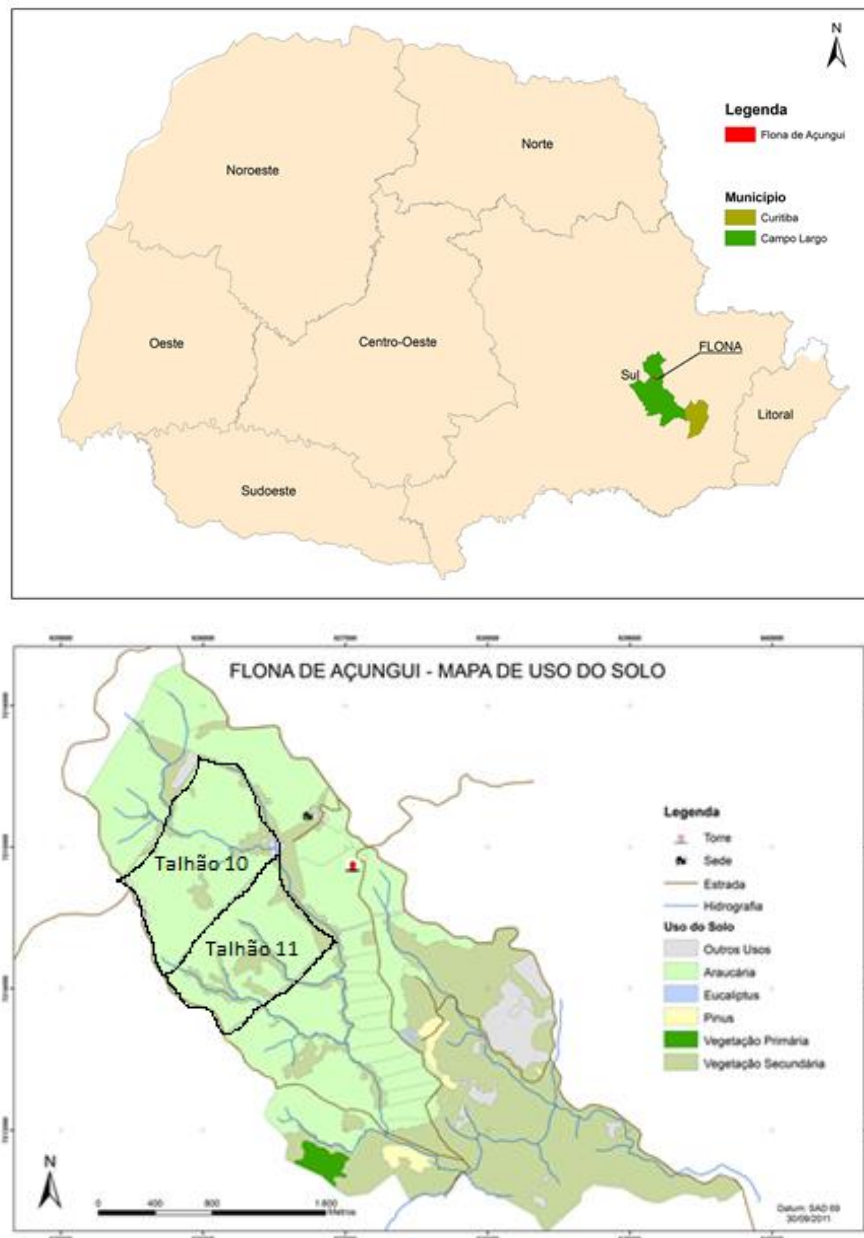


FIGURA 1.1 - LOCALIZAÇÃO DA FLONA DE AÇUNGUI, COM DESTAQUE PARA OS TALHÕES EM ESTUDO

FONTE: (INVENTÁRIO..., 2012) adaptado pelo autor (2015)

Há registros de desbastes entre 1970 e 1980 nesta área, com retirada de significativo volume de madeira, conforme apresentado na TABELA 1.1.

TABELA 1.1 - INFORMAÇÕES SOBRE A ÁREA DE ESTUDO

Talhão	Área (ha)	Anos de desbaste	Volume retirado (st)	Volume retirado (st/ha)
10	72,8	1970	5.050	69,37
		1974	4.263	58,56
		1975	2.000	27,47
		1979	5.502	75,58
11	58,5	1970	4.031	68,91
		1974	3.000	51,28
		1975	3.896	66,60
		1979	3.223	55,09
		1980	7.000	119,66

FONTE: (INVENTÁRIO..., 2012) adaptado pelo autor (2015)

Considerando a situação atual dos plantios, visto que a última intervenção que eles sofreram data de mais de 30 anos, o povoamento encontra-se sob intensa competição, existindo um sub-bosque bastante denso e com elevada diversidade de espécies, destacando-se a presença de Xaxim (*Dicksonia sellowiana* (Presl.) Hook).

2.2 COLETA DE DADOS

O levantamento dos dados foi realizado em parcelas circulares estabelecidas com árvores pertencentes a 6 classes de diâmetro, tendo como centro da unidade amostral, uma árvore objetivo, com intervalo de classes de 10 cm, variando de 10 a 70 cm. Buscou-se selecionar 8 árvores em cada uma das classes, porém na maior classe de diâmetro, foram selecionados apenas 6 árvores, devido à pequena representatividade desta classe no povoamento, totalizando 46 unidades amostrais distribuídas aleatoriamente (FIGURA 1.2).

Para estabelecer a amplitude de amostragem das árvores objetivo, foram considerados os dados do inventário piloto realizado pelo Serviço Florestal Brasileiro e Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (INVENTÁRIO..., 2012).

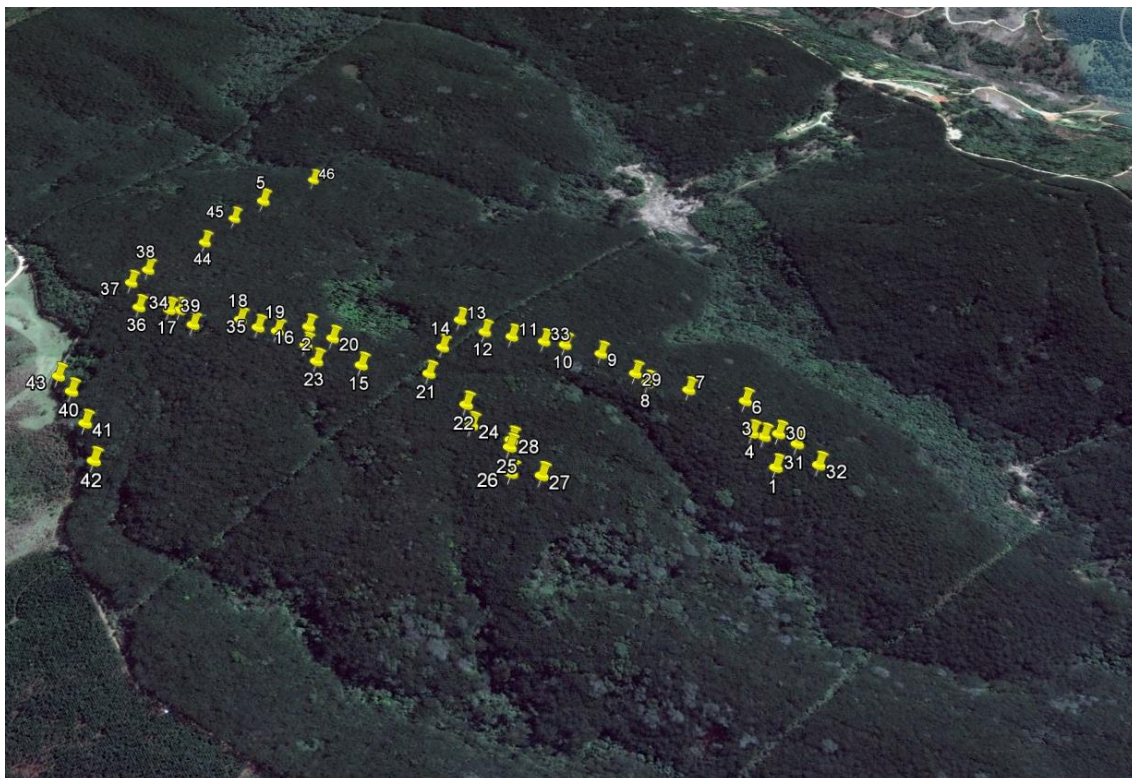


FIGURA 1.2 - DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES OBJETO NOS TALHÕES EM ESTUDO
 FONTE: Google earth, adaptado pelo autor (2015)

Foram identificadas as árvores ativamente concorrentes com cada árvore objetivo, denominadas árvores competidoras, considerando aquelas cujas copas estavam em contato com a copa da árvore objetivo de cada parcela. Quando não havia contato entre copas, porém a árvore estava dentro do raio definido para cada parcela, e apresentava dap maior ou igual a 10 cm, foi incluída como componente da unidade.

Quando dentro da área da parcela ocorreram árvores de outras espécies, essas também foram incluídas, desde que estivessem dentro do tamanho mínimo para inclusão de 10 cm de dap (diâmetro a 1,30 m de altura do solo), para a aplicação dos índices de competição. No entanto, elas não foram contabilizadas na análise de densidade, uma vez que se trata da caracterização de um povoamento de *Araucaria angustifolia*. Ressalta-se que essas árvores estavam no sub-bosque e, portanto, não competiam em espaço aéreo.

A espacialização das árvores competidoras na parcela foi realizada a partir do norte, sendo anotada a posição em que cada uma estava localizada em relação à árvore objetivo, bem como a distância.

O raio tomado entre o centro da unidade (centro da árvore objetivo) e o centro da sua árvore competidora em copa mais distante foi utilizado para determinar a área da unidade amostral, conforme representado na FIGURA 1.3.

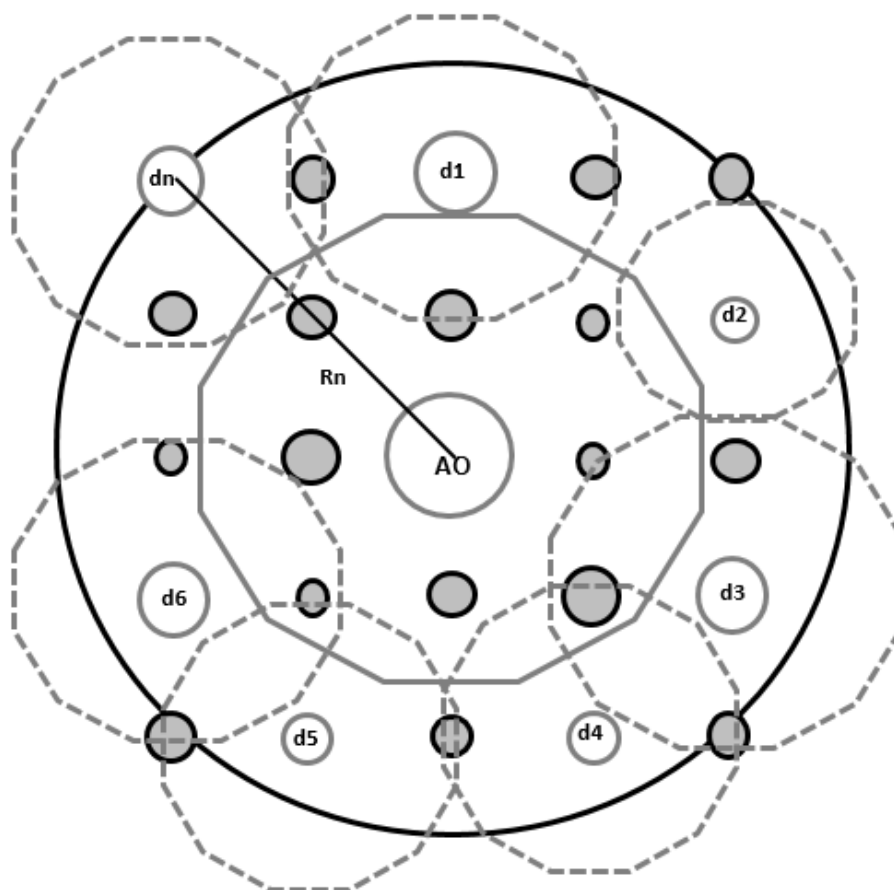


FIGURA 1.3 - PROCEDIMENTO DE INCLUSÃO DE ÁRVORES

Em que: os círculos preenchidos são as árvores que não existem na parcela devido a mortalidade ou desbaste; os círculos sem preenchimento são as árvores contidas na parcela com suas respectivas projeções de copa em contato com a árvore objetivo (AO); R_n = raio da parcela (m); e d_1, d_2, \dots, d_n = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm), n = número de árvores ocorrentes na parcela

FONTE: O autor (2015)

Assim, as unidades amostrais foram instaladas fazendo-se uma adaptação do método de Prodan (“Seis Árvores”), uma vez que o número de árvores medidas variou para cada parcela.

O número de árvores por hectare (N), bem como a área basal por hectare (G) foram estimados, seguindo-se os passos do método de Prodan apresentados por Péllico Netto e Brena (1997), porém adaptados ao número de árvores de *Araucaria angustifolia* encontradas na parcela.

Para a obtenção da estimativa da área basal, usou-se a seguinte relação de proporcionalidade:

$$\frac{\pi R_n^2}{10.000} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} g_i + \frac{g_n}{2}}{\hat{G}} \rightarrow \hat{G} = \frac{\frac{\pi}{4} \left(d_1^2 + d_2^2 + \dots + \frac{d_n^2}{2} \right)}{\pi R_n^2} 10.000$$

O número de árvores por hectare foi obtido usando o mesmo princípio da proporcionalidade:

$$\frac{\pi R_n^2}{10.000} = \frac{n - 0,5}{\hat{N}} \rightarrow \hat{N} = \frac{(n - 0,5)(10.000)}{\pi R_n^2}$$

Em que: R_n = Raio da parcela (m); g_i = área transversal das árvores pertencentes a parcela, exceto a mais distante da objetivo (m^2); g_n = área transversal da árvore competidora mais distante da árvore objetivo (m^2); d_1, d_2, \dots, d_n = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm), n = número de árvores ocorrentes na parcela.

Lembrando que, para as parcelas consideradas neste estudo, o centro é uma árvore e, portanto, esta foi contabilizada no cálculo de área basal e número de árvores por hectare.

2.2.1 Variáveis dendrométricas mensuradas

Para cada árvore objetivo, bem como para suas competidoras, foram medidas as seguintes variáveis dendrométricas:

- (a) O diâmetro à altura do peito (dap), considerado a 1,30 m de altura do solo;
- (b) Altura comercial (hc), do fuste (hf) e total (h) medidas com fita métrica, em metros, quando na ocasião da derrubada para as árvores objetivo e estimadas para as árvores competidoras de acordo com a altura da árvore objetivo, sendo consideradas a distância do solo até o primeiro galho, a distância do solo até o ponto de inserção da copa, e a distância do solo ao longo do eixo até a ponta mais alta, respectivamente;

(c) Raio da copa (rc): medidos com auxílio de uma fita métrica e com uma bússola, em oito direções, no sentido horário, com intervalos de 45 graus iniciando na posição norte magnético e seguindo para os demais pontos cardeais (N, NE, L, SE, S, SO, O e NO), sendo a média aritmética dos oito raios medidos determinada como o raio da copa, em metros, obtido somente para as árvores competidoras por espaço aéreo.

2.2.2 Variáveis morfométricas calculadas

Para descrever as relações interdimensionais das árvores, foram obtidas as seguintes variáveis morfométricas:

(a) Diâmetro de copa (dc): multiplicação do raio da copa em metros por dois ($2 \cdot rc$);

(b) Grau de esbeltez (ge): razão entre a altura total das árvores e o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (h/dap);

(c) Comprimento de copa (cc): diferença entre a altura total (h) e altura de início da copa (hc), ($h - hc$) em metros;

(d) Proporção de copa (%) ou percentagem de copa (pc): relação entre o comprimento da copa e a altura total da árvore ($((cc/h) \cdot 100)$);

(e) Índice de saliência (is): razão entre o diâmetro da copa e o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (dc/dap);

(f) Índice de abrangência (ia): razão entre o diâmetro da copa e a altura total (dc/h); e

(g) Formal de copa (fc): razão entre o diâmetro da copa (dc) e o comprimento de copa (dc/cc).

2.3 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

Foram estabelecidas correlações de Pearson entre todas as variáveis dendrométricas e morfométricas avaliadas. Considerou-se um nível de 95% de probabilidade para a realização do teste.

2.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE MÁXIMA DE ÁRVORES

A área média disponível para árvores em um povoamento foi calculada dividindo-se a área do povoamento pelo número de árvores, ou aplicando-se uma relação para área de 1 hectare (ASSMANN, 1970), conforme segue:

$$PC = \pi \cdot dc^2 / 4$$
$$N = 10.000 / PC$$

Em que: dc = diâmetro de copa (m); PC = área de projeção de copa (m²) do diâmetro médio do povoamento; N = número de árvores.ha⁻¹.

2.5 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO

O status competitivo de cada árvore objetivo foi avaliado utilizando e comparando índices de competição independentes e dependentes da distância (TABELA 1.2).

TABELA 1.2 - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO AVALIADOS

Índice/Fonte	Código/Equação	Observação/Interpretação
Índices independentes da distância (IID)		
Glover e Hool (1979)	$IID1 = \frac{\pi(d_i/2)^2}{\pi\{[(\sum_{j=1}^{n_j} d_j)/n_j]/2\}^2} = \frac{d_i^2}{\bar{D}^2}$	O denominador foi calculado utilizando a árvore objetivo e suas competidoras. Quanto < o índice, > é a competição.
Daniels <i>et al.</i> (1986) - Modificações do Índice de Glover e Hool (1979)	$IID2 = \frac{d_i^2}{(\sum_{j=1}^n d_j^2)/n}$	Considera o diâmetro. Quanto < o índice, > é a competição.
	$IID3 = \frac{h_i}{\bar{H}}$	Considerando a altura. Quanto < o índice, > é a competição.
	$IID4 = \frac{d_i^2 \cdot h_i}{\bar{D}^2 \cdot \bar{H}}$	Considerando a combinação entre diâmetro e altura. Quanto < o índice, > é a competição.
Stage (1973)	$IID5 = \frac{d_i}{q}$	Quanto < o índice, > é a competição.
BAL (<i>Basal Area Larger</i>), utilizado por Stage (1973)	$IID6 = \sum_{i=1}^n g$	Considera como competidoras as árvores com área basal > que a árvore objetivo. Quanto > o índice, > é a competição.
Lorimer (1983)	$IID7 = \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{d_i} = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{d_i}$	Aumenta quando o número de competidores aumenta. Quanto > o índice, > é a competição.
Cole e Lorimer (1994) - Modificação do índice de Lorimer (1983)	$IID8 = \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{d_i} = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{d_i}$	Apenas árvores com copa ≥ a objetivo são competidoras, levando em conta que árvores de posições sociológicas inferiores não tem efeito no crescimento das de posição sociológica superior. Quanto > o índice, > é a competição.
Corona e Ferrara (1989) - Modificação do índice de Lorimer (1983)	$IID9 = \frac{\sum_{j=1}^n d_j^2}{d_i^2}$	Eleva os diâmetros ao quadrado, sugerindo que a interação entre árvores deve ser proporcional à área basal, sendo mais aceitável do ponto de vista biológico. Quanto > o índice, > é a competição.
Tomé e Burkhart (1989), considerando o diâmetro máximo	$IID10 = \frac{d_i}{d_{max}}$	Considera que a competição pode ser expressa pela influência exercida pela árvore de diâmetro máximo da unidade amostral. Quanto < o índice, > é a competição.
Índices dependentes da distância (IDD)		
Hegyi (1974)	$IDD1 = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{d_i} \cdot \frac{1}{L_{ij}}$	Atribui peso maior a competidores mais próximos, sendo que maiores valores do índice indicam competição intensa. Quanto > o índice, > é a competição.
Martin e Ek (1984) - Modificação do índice de Hegyi (1974) e de Daniels (1976).	$IDD2 = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{d_i} \cdot \frac{1}{(L_{ij} + 1)}$	O valor de 1 foi adicionado para evitar a divisão por zero nos casos em que $L_{ij} = 0$ (árvores com bifurcação abaixo do dap). Quanto < o índice, > é a competição.
Moore <i>et al.</i> (1973), baseado no método de Brown (1965) - Area Potentially Available (APA) - Área Potencialmente Disponível.	$IDD3 = \sum_{j=1}^n \frac{d_i^2}{d_i^2 + d_j^2} \cdot L_{ij}$	Expressa a competição descrevendo uma zona de influência primária e crescente espaço para uma árvore individual conforme limitado pela concorrência exercida por árvores circundantes. Quanto < o índice, > é a competição.

continua

TABELA 1.2 - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO AVALIADOS

		continuação
Índice/Fonte	Código/Equação	Observação/Interpretação
Braathe (1980), citado/utilizado por Pukkala e Kolström (1987)	$IDD4 = \sum_{j=1}^n \frac{h_j}{h_i} \cdot \frac{1}{L_{ij}}$	Utiliza apenas a altura e a distância para refletir a competição. Em casos de dossel homogêneo, como no presente trabalho, não é possível verificar um padrão de aumento ou diminuição do índice com a competição.
Rouvinen e Kuuluvainen (1997) - Modificação do índice de Hegyi	$IDD5 = \sum_{j=1}^n \frac{dj}{L_{ij}^2} = \sum_{j=1}^n \frac{dj}{di} \cdot \frac{1}{L_{ij}^2}$	Maior peso para a distância. Quanto > o índice, > é a competição.
	$IDD6 = \sum_{j=1}^n \frac{\left(\frac{dj}{di}\right)^2}{L_{ij}} = \sum_{j=1}^n \left(\frac{dj}{di}\right)^2 \cdot \frac{1}{L_{ij}}$	Maior peso para a relação de diâmetros. Quanto > o índice, > é a competição.
Índices dependentes da distância com influência da área de copa (AC)		
Alvarez Taboada <i>et al.</i> (2003)	$AC1 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_j}{a_i \cdot L_{ij}} \right)$	Quanto > o índice, > é a competição.
	$AC2 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_j}{a_i} \right)$	Quanto > o índice, > é a competição.
	$AC3 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_j}{a_i} \right)^2$	Quanto > o índice, > é a competição.
Castagneri <i>et al.</i> (2008) - Modificação do índice de Alvarez Taboada <i>et al.</i> (2003)	$AC4 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_j h_j}{a_i h_i} \right)$	Quanto > o índice, > é a competição.
	$AC5 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_j h_j}{a_i h_i} \right)^2$	Quanto > o índice, > é a competição.
	$AC6 = \sum_{j=1}^n \frac{(a_j h_j / a_i h_i)}{L_{ij}}$	Quanto > o índice, > é a competição.
	$AC7 = \sum_{j=1}^n \frac{(a_j h_j / a_i h_i)^2}{L_{ij}}$	Quanto > o índice, > é a competição.
Índices dependentes da distância com influência da área de sobreposição de copa (ASC)		
Bella (1971)	$ASC1 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{a_i} \cdot \frac{dc_j}{dc_i} \right)^{ex}$	A zona de influência é proporcional ao tamanho da árvore. Mais peso competitivo é dado as árvores maiores. Adotou-se o expoente 1 conforme utilizado por Rivas <i>et al.</i> (2005) e Contreras <i>et al.</i> (2011). Quanto > o índice, > é a competição.
Arney (1973)	$ASC2 = 100 \cdot \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} + a_i \right) / a_i$	100 é o valor mínimo quando não há sobreposição das copas. Quanto > o índice, > é a competição.
Wimberly e Bare (1996) - Modificação do índice de Arney (1973)	$ASC3 = 100 \cdot \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} + a_i \right) / a_i$	Apenas as árvores com área basal ≥ que a árvore objetivo são competidoras. Quanto > o índice, > é a competição.
Ek e Monserud (1974)	$ASC4 = \sum_{j=1}^n \left[\frac{a_{ij}}{a_i} \cdot \frac{R_j \cdot h_j}{R_i \cdot h_i} \right]$	Considera que a altura das árvores influencia a competição. Quanto > o índice, > é a competição.

continua

TABELA 1.2 - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO AVALIADOS

Índice/Fonte	Código/Equação	conclusão Observação/Interpretação
Cole e Lorimer (1994)	$ASC5 = \frac{1}{d_i \cdot (b_{ij}\%)} \sum_{j=1}^n d_j$	Levam em conta a área de copa da árvore objetivo que se encontra exposta, e não sobreposta como os demais índices. Quanto > o índice, > é a competição.
	$ASC6 = \frac{1}{b_{ij}} \sum_{j=1}^n a_j$	

em que: d_i e d_j = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (dap) da árvore objetivo i e da árvore competidora j (cm), respectivamente; \bar{D} = média dos diâmetros (dap) das árvores da unidade amostral (cm); n = número de árvores competidoras; h_i e h_j = altura total da árvore objetivo i e da árvore competidora j (m), respectivamente; \bar{H} = altura média das árvores da unidade amostral (m); q = diâmetro quadrático (cm); g = área transversal (m²); d_{max} = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (dap) máximo na unidade amostral (cm); L_{ij} = distância entre a árvore objetivo e a árvore competidora (cm); a_i e a_j = área de copa da árvore objetivo i e da árvore competidora j (m²), respectivamente; a_{ij} = área de sobreposição entre a árvore objetivo i e a árvore competidora j (m²); dc_i e dc_j = diâmetro de copa da árvore objetivo i e da árvore competidora j (m) respectivamente; ex = expoente que varia de acordo com a espécie e é determinado de forma iterativa, sendo adotados valores de 0 a 3 por Bella (1971); R_i e R_j = raio médio da copa da árvore objetivo i e competidora j (m), respectivamente; b_{ij} = área de copa exposta da árvore objetivo i , em relação aos seus competidores j (m²) (o valor mínimo para sobreposição da árvore é $a_i \cdot 0,02$); $b_{ij}\%$, área de projeção da copa exposta em porcentagem (valor mínimo de 2,0).

FONTE: o autor (2015)

Para o desenvolvimento dos índices com influência de área de copa (AC e ASC), conforme recomendação de Arney (1973), Wimberly e Bare (1996) entre outros, as variáveis independentes (raio de copa de árvores isoladas) foram obtidas por análise de regressão em função do dap, uma vez que os índices assumem que a competição pode ser medida pelo cálculo do somatório da sobreposição entre a copa da árvore objetivo e a de suas vizinhas, se elas atingissem as dimensões de árvores isoladas de mesmo diâmetro. Portanto, utiliza-se uma sobreposição potencial da copa ao invés de uma sobreposição real.

Diante da necessidade de se obter o diâmetro de copa, supondo que ela cresça livre, foi realizada a seleção de árvores presentes na área de estudo, desde que estivessem livres de competição com outras árvores, sendo obtidas as medidas de dap e diâmetros de copa (conforme metodologia de medição das copas sob competição). Assim, foi possível a obtenção da relação diâmetro de copa/dap de árvores livres.

Para o cálculo da área de sobreposição de copa, todas as árvores amostradas foram georreferenciadas no ArcGis, com as coordenadas obtidas no campo, sendo considerados os diâmetros de copa que cresceram livres, estimados pela regressão.

Um esquema de sobreposição de zona de influência entre uma árvore objetivo e suas competidoras está apresentado na FIGURA 1.4, em que os valores das áreas de interseção entre as copas foram usados para calcular índices de competição.

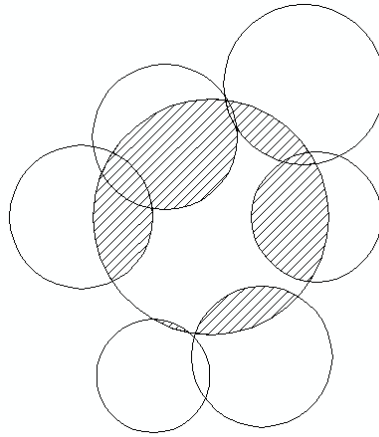


FIGURA 1.4 - SOBREPOSIÇÃO DE ZONA DE INFLUÊNCIA
 FONTE: O autor (2015)

2.5.1 Avaliação dos índices de competição

Para avaliar os índices de competição, foi calculada a correlação simples dos índices com o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (dap), bem como a significância ou não das correlações pelo teste *t*, a 95% de probabilidade. A correlação simples entre variáveis é um critério comum para a seleção à priori de índices de competição (DANIELS, 1976).

Após a análise de correlação, foi realizada uma seleção prévia de modelos de regressão, considerando como variáveis dependentes o diâmetro/crescimento em diâmetro em função do índice de competição das árvores. Foram utilizados modelos de regressão de diferentes naturezas, do tipo linear conforme realizado por Castagneri *et al.* (2008), logarítmica e quadrática conforme utilizada por Radtke *et al.* (2003) e potencial, e selecionadas previamente de acordo com as tendências observadas nos diagramas de dispersão. A equação selecionada para cada índice foi a regressão estatisticamente significativa com o menor erro padrão, melhor distribuição dos resíduos, e maior coeficiente de determinação, semelhante ao procedimento adotado por Lorimer (1983) e Castagneri *et al.* (2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO POVOAMENTO

A área total amostrada, considerando as 46 parcelas avaliadas, foi de 1,32 hectares, sendo amostrado um total de 329 árvores com dap maior ou igual a 10 cm, em média 280,3 árvores.ha⁻¹, com área basal média.ha⁻¹ de 29,6 m² e dap médio.ha⁻¹ de 37,0 cm. O dap máximo identificado no povoamento foi de 68,8 cm.

3.2 QUANTIFICAÇÃO DA COMPETIÇÃO

3.2.1 Análise de correlação das variáveis dendrométricas e morfométricas

Todas as variáveis dendrométricas e morfométricas avaliadas no estudo tiveram correlação significativa com o dap (TABELA 1.3).

TABELA 1.3 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E MORFOMÉTRICAS DE *Araucaria angustifolia* SOB COMPETIÇÃO

	média	desvio padrão	dap	dc	ht	hc	ge	cc	pc	is	ia
dap	37,0	9,38	-								
dc	8,51	2,17	0,87*	-							
ht	22,85	3,24	0,66*	0,58*	-						
hc	19,31	3,03	0,49*	0,44*	0,89*	-					
ge	0,60	0,12	-0,82*	-0,70*	-0,23*	-0,13*	-				
cc	3,50	1,49	0,42*	0,35*	0,37*	-0,10 ^{ns}	-0,24*	-			
pc	0,14	0,06	0,16*	0,12*	-0,02 ^{ns}	-0,47*	-0,14*	0,90*	-		
is	0,22	0,03	-0,18*	0,29*	-0,14*	-0,11 ^{ns}	0,24*	-0,08 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-	
ia	0,37	0,08	0,64*	0,84*	0,06 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,74*	0,16*	0,12*	0,44*	-
fc	2,42	1,05	0,22*	0,35*	0,04 ^{ns}	0,36*	-0,30*	-0,64*	-0,72*	0,24*	0,44*

Em que: * e ^{ns}: significativo e não significativo a 95% de probabilidade, respectivamente; dap = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm); dc = diâmetro de copa (m); ht = altura total (m); hc = altura comercial (m); ge = grau de esbeltez; cc = comprimento de copa (m); pc = proporção de copa; is = índice de saliência; ia = índice de abrangência; fc = formal de copa.

FONTE: O autor (2015)

Verificou-se que à medida que aumentou o dap, o diâmetro de copa, as alturas total e comercial, o comprimento e porcentagem de copa, o índice de abrangência e o formal de copa também aumentaram, resultando em correlação positiva. Já o grau de esbeltez e índice de saliência apresentaram em correlação negativa, sendo que a maior correlação do dap ocorreu com o diâmetro de copa, seguido pelo grau de esbeltez, ambos com correlação acima de 0,80.

O grau de esbeltez, ou relação h/dap, é uma variável que caracteriza a estabilidade das árvores. Quanto mais alto o grau de esbeltez, tanto mais instável é a árvore, podendo indicar instabilidade contra o vento, ou mesmo servir como indicativo de desbastes em atraso, especialmente em povoamentos puros e equiâneos, conforme comentando por Durlo e Denardi (1998).

Na FIGURA 1.5, é possível observar que o grau de esbeltez apresenta correlação negativa com o dap, de forma que à medida que as árvores engrossam, o grau de esbeltez diminui, evidenciando que, proporcionalmente, há maior aumento de diâmetro (cm) do que de altura (m), e as árvores tendem a se tornarem mais estáveis.

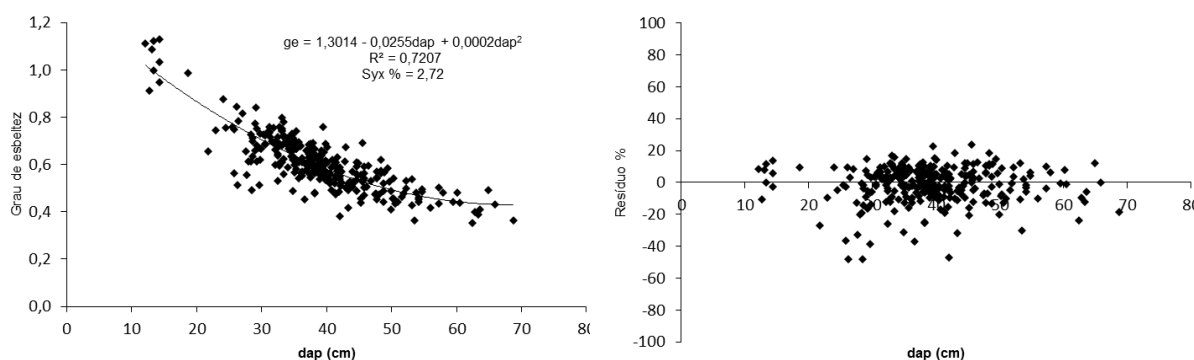


FIGURA 1.5 - RELAÇÃO ENTRE DIÂMETRO À 1,30 m DE ALTURA DO SOLO (dap) E O GRAU DE ESBELTEZ

FONTE: O autor (2015)

Segundo Scolforo (2005), quando a concorrência é alta, a razão h/dap é maior que quando a concorrência é moderada. O maior incremento anual em altura é verificado na fase jovem, diminuindo na adulta, além disso, a variável diâmetro é bastante afetada pela concorrência em qualquer estrato.

A tendência de aumento do diâmetro de copa e de diminuição do grau de esbeltez com o aumento do diâmetro, também foi observada por Durlo (2001) com *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart e por Roman *et al.* (2009) para *Cordia trichotoma*, ambos em Floresta Estacional Decidual do Rio Grande do Sul; e por Tonini e Arco-

Verde (2005) para plantios homogêneos de castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*), ipê-roxo (*Tabebuia avellaneda*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*), no estado de Roraima.

A relação entre o diâmetro de copa e o dap, denominada índice de saliência, expressa quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o dap. Quando se prevê o manejo de um povoamento pelo diâmetro atingido por seus componentes, o número máximo de árvores por unidade de área, à medida que as árvores forem crescendo, pode ser calculado pelo índice de saliência, se existir uma correlação significativa entre este e o dap (DURLO; DENARDI, 1998).

Segundo Assmann (1970), cada árvore individual em um povoamento tem uma determinada quantidade de espaço para o crescimento, e quanto maior o número de árvores por hectare, menor é o espaço médio do solo disponível. Assim, a área média disponível é inversamente proporcional ao número de árvores, uma vez que, com um aumento no diâmetro das árvores, o tamanho médio das copas aumenta e consequentemente, o espaço requerido para o crescimento também aumenta.

Uma vez que se obteve alta correlação do dap com o diâmetro de copa, ajustou-se um modelo para descrever esta relação, conforme apresentado na FIGURA 1.6.

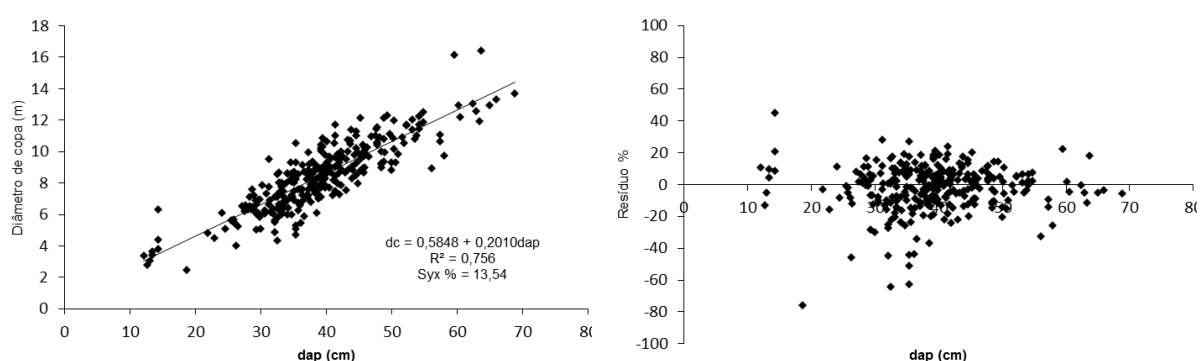


FIGURA 1.6 - RELAÇÃO ENTRE DIÂMETRO À 1,30 m DE ALTURA DO SOLO (dap) E O DIÂMETRO DE COPA
FONTE: O autor (2015)

Pesquisas com *Araucaria angustifolia* mostram que existe uma estreita correlação entre o dap e o diâmetro da copa, podendo-se citar Oliveira (1980) que encontrou uma correlação de 0,853 com árvores nativas de *Araucaria angustifolia* distribuídos no município de Curitiba, e Nutto (2001) que encontrou correlação de 0,96, utilizando dados provenientes de plantios com e sem intervenção de desbastes,

e também dados de florestas nativas dominadas por *Araucaria angustifolia* e árvores isoladas. Altas correlações entre o dap e diâmetro de copa (dc) de *Araucaria angustifolia* também foram encontrados por outros autores conforme apresentado na TABELA 1.4.

TABELA 1.4 - EQUAÇÕES PARA ESTIMAR A RELAÇÃO ENTRE O DIÂMETRO À 1,30 m DE ALTURA DO SOLO (dap) E O DIÂMETRO DE COPA (dc) de *Araucaria angustifolia*

Autor	Equação	r	Número de repetições
Volkart (1969)	$dc = 1,426 + 16,36dap$	0,958	152
Longhi (1980)	$dc = 0,12755 + 0,23261dap$	0,924	± 315
Seitz (1986)	$dc = -0,706 + 0,242dap$	0,974	20
O autor (2015)	$dc = 0,5848 + 0,2010dap$	0,869	296

Em que: dap = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (m) para a equação de Volkart (1986); dap = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm) para as demais equações; dc = diâmetro de copa (m); r = correlação.
FONTE: O autor (2015)

As equações de Volkart (1969), Longhi (1980) e Seitz (1986) foram construídas para árvores de florestas naturais, cujas copas se encontravam em espaço aberto.

Com base no comportamento das equações analisadas (FIGURA 1.7), nota-se que o desenvolvimento do diâmetro de copa em relação ao dap segue padrão linear, de forma que as alterações ao longo do tempo, seguindo o referido padrão, refletem as condições passadas do povoamento.

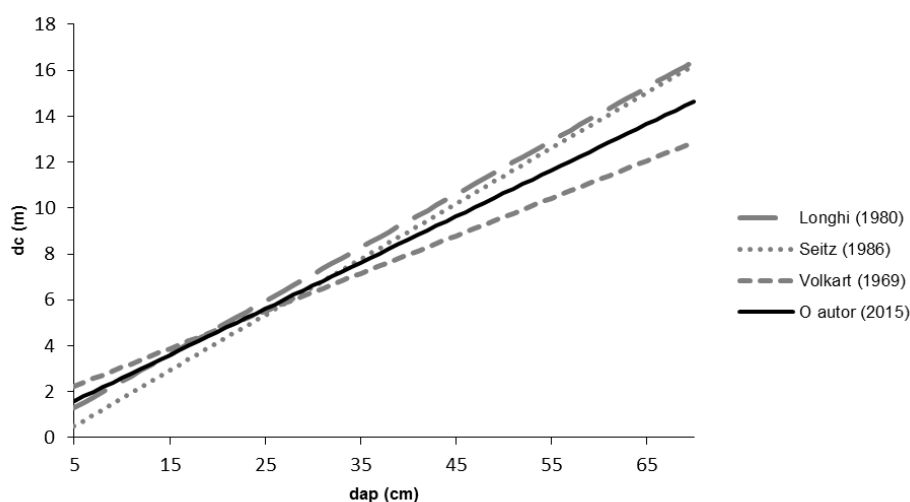


FIGURA 1.7 - COMPARATIVO DA RELAÇÃO ENTRE O DIÂMETRO À 1,30 m DE ALTURA DO SOLO (dap) E O DIÂMETRO DE COPA (dc) OBTIDA POR DIFERENTES AUTORES

FONTE: O autor (2015)

Assim, assumiu-se que as variáveis relacionadas com o diâmetro de copa refletem o efeito da competição ocorrida no passado. As dimensões apresentadas pelas copas no atual momento foram moldadas pela competição à qual a árvore foi submetida no passado, ocasionando mudanças nas dimensões das árvores e, portanto, variações na captação de recursos para o crescimento (CLARK; CLARK, 2001).

3.2.2 Determinação da densidade máxima de árvores por hectare com base na projeção de copa

Uma vez obtida a equação para descrever a relação dap e diâmetro de copa (TABELA 1.4 - O autor) e, portanto, a área de projeção de copa para um dado diâmetro médio, foi possível obter o espaço requerido para o crescimento das árvores do povoamento.

Em povoamentos não desbastados, as copas estão muitas vezes em contato direto umas com as outras. Mas mesmo com tal contato pode ainda haver pequenas falhas no dossel. Se essa parte do espaço em um povoamento que não é preenchida por copas é considerada como sendo repartida entre as árvores vizinhas ao redor, pode-se estimar o espaço de crescimento disponível para cada árvore em particular. A projeção horizontal deste espaço é a área potencialmente ou nominalmente disponível, sendo definida pela projeção horizontal da copa (área da copa dossel), mais a parte adequada da área complementar entre as projeções no povoamento (ASSMANN, 1970).

Uma vez que o povoamento em estudo foi estabelecido com espaçamento 2 m x 2 m, possuindo 2.500 árvores.ha⁻¹, foi possível definir o momento de transição entre copas livres e em início de competição (TABELA 1.5), a partir do qual o primeiro desbaste poderia ser realizado no povoamento.

TABELA 1.5 - NÚMERO DE ÁRVORES.HA⁻¹ COM BASE NA OCUPAÇÃO DE ÁREA DE COPA, E PONTO DE TRANSIÇÃO ENTRE COPAS LIVRES E EM INÍCIO DE COMPETIÇÃO

dap médio do povoamento (cm)	Diâmetro de copa (m)	Área de copa (m ²)	Número de árvores.ha ⁻¹
5	1,59	1,99	2500
6	1,79	2,52	2500
7	1,99	3,12	2500
8	2,19	3,78	2500
9	2,39	4,50	2221
10	2,60	5,29	1891
15	3,60	10,18	982
20	4,61	16,66	600
25	5,61	24,72	404
30	6,62	34,38	291
31	6,82	36,50	274
32	7,02	38,68	259
33	7,22	40,93	244
34	7,42	43,24	231
35	7,62	45,62	219
36	7,82	48,06	208
37	8,02	50,56	198
38	8,22	53,12	188
39	8,43	55,75	179
40	8,63	58,44	171
41	8,83	61,20	163
42	9,03	64,02	156
43	9,23	66,90	149
44	9,43	69,85	143
45	9,63	72,86	137
50	10,64	88,86	113
51	10,84	92,25	108
52	11,04	95,70	104
53	11,24	99,22	101
54	11,44	102,80	97
55	11,64	106,45	94
60	12,65	125,62	80

FONTE: O autor (2015)

Com a aplicação do método para interpretação do espaço disponível para as árvores do povoamento, em função do dap e do diâmetro de copa, nota-se que a partir do dap médio de 9 cm, tem-se um indicativo de que as árvores precisam de espaço individual maior, para que o povoamento pudesse se desenvolver sem comprometimento de espaço disponível de desenvolvimento das copas.

Com base na área de projeção de copa (TABELA 1.5), ao atingir a idade correspondente a 9 cm de dap médio, o povoamento apresentava população 11%

superior a população ideal. Apesar da área de projeção de copa servir como referência para definir o desbaste, ou seja, a quantidade mínima de árvores que devem ser removidas para que seja liberado espaço para o crescimento das árvores, é importante considerar a viabilidade econômica da intervenção, uma vez que, se a quantidade a ser removida for pequena, como observado no povoamento em estudo quando atingiu da médio de 9 cm, a recomendação do desbaste deverá ser postergada, em função das árvores ainda estarem com pequenos diâmetros, equivalendo a material lenhoso de baixo valor econômico.

De acordo com Larson (1963), em povoamentos fechados, as árvores dominadas com o tempo, vão sendo sombreadas e podem ser cobertas pelas copas de suas vizinhas, em que nelas, o aumento progressivo da competição provoca uma redução no tamanho da copa e na eficiência dos ramos, o que resulta em declínios na produção de madeira. Assim, em um povoamento fechado a produção de madeira varia conforme a classe e o desenvolvimento da copa, sendo que um decréscimo na classe sociológica geralmente é acompanhado por alterações na qualidade da madeira. Com base nessas afirmações, a ocupação do espaço individual máximo com base no tamanho da copa, é um critério coerente para a definição do momento ideal de desbaste.

Uma vez que o povoamento possui da médio de 37 cm, para que as árvores remanescentes pudessem se desenvolver sem comprometimento, o número médio de árvores não deveria ser superior a 198 árvores.ha⁻¹, aproximadamente 30% menos da média atual de 280 árvores.ha⁻¹. Lembrando que a forma como o povoamento foi conduzido não resultou em árvores com diâmetros homogêneos, assim, tem-se árvores variando de 10 até 70 cm. Ao se efetuar o desbaste, o povoamento aumentará o diâmetro médio com o passar do tempo, sendo necessário recalcular a densidade ideal de árvores no povoamento de acordo com a área de projeção de copa, resultando na necessidade de novas remoções que deverão ocorrer antes do corte final.

No povoamento em questão, com uma idade de 65 anos, esperava-se que o diâmetro médio das árvores fosse maior, podendo já ter alcançado dimensões de aproximadamente 60 a 70 cm, conforme foi confirmado por árvores do povoamento que atingiram essas dimensões, na caracterização do povoamento. Com base nisso, se desbastes regulares tivessem sido realizados, o povoamento, em termos de espaço vital da copa, teria no máximo 80 árvores.ha⁻¹.

Como há muitas árvores de classes diamétricas reduzidas, o manejo bem conduzido teria sido muito benéfico para o desenvolvimento do povoamento. No entanto, uma vez que os desbastes não foram realizados nos períodos em que o povoamento iniciou o processo de competição das copas, sugestões drásticas de manejo provavelmente não trarão bons resultados, pois conforme discutido por Larson (1963) e Smith *et al.* (1997) quando os desbastes são realizados com atraso, há ocorrência de alterações bruscas da taxa de crescimento do diâmetro, alterando a qualidade da madeira. Além disso, de acordo com Kramer e Kozlowski (1960) é possível que as árvores em povoamentos superestocados possuam reservas insuficientes para desenvolverem rapidamente uma copa mais ampla capaz de levar adiante uma maior fotossíntese.

Desbastes tardios podem, portanto, ocasionar instabilidade às árvores remanescentes, devido à ação dos ventos, ou mesmo a quebra ou queda de árvores, além de possibilitar a exposição direta ao sol, das folhas de sombra decorrentes de um dossel fechado por muito tempo, causando danos e consequentemente provocando redução de qualidade da madeira (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960).

3.2.3 Copas livres de competição

Uma vez verificada a alta correlação entre o dap e o diâmetro de copa, e diante da necessidade da estimativa da área de copa, supondo que elas tenham crescido livres, para o desenvolvimento dos índices de competição, obteve-se o ajuste do diâmetro das copas para todas as árvores presentes nas 46 parcelas amostradas. Para isso, foram identificadas 20 árvores livres de competição, dentre as árvores presentes na área de estudo e a correlação entre o dap e diâmetro de copa encontrada foi de 0,8029. A equação obtida para o ajuste encontra-se na FIGURA 1.8.

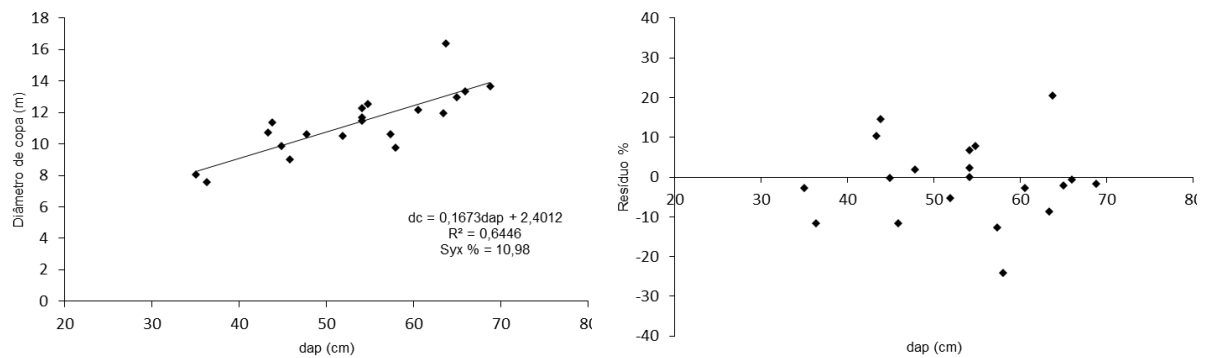


FIGURA 1.8 - RELAÇÃO ENTRE DIÂMETRO À 1,30 m DE ALTURA DO SOLO (dap) E O DIÂMETRO DE COPA PARA ÁRVORES LIVRES DE COMPETIÇÃO
FONTE: O autor (2015)

Volkart (1969), estudando a relação dap e o diâmetro da copa em exemplares crescidos de forma livre (sem competição) em duas regiões da província de Misiones, Argentina, verificou que a relação copa/diâmetro para *Araucaria angustifolia* foi linear. O mesmo comportamento foi observado por Longhi (1980) e Seitz (1986) para *Araucaria angustifolia*, em uma floresta em São João do Triunfo, PR. Contudo Silva (1977) observou uma tendência parabólica estudando a relação copa/diâmetro de *Araucaria angustifolia* em duas áreas de floresta natural, concluindo que as árvores desenvolveram grandes diâmetros, a fim de suportar copas maiores, dependendo de sua posição sociológica.

O comportamento observado leva a supor que à medida que as árvores crescem em diâmetro, linearmente aumenta-se o diâmetro de copa, porém em algum determinado momento isto tende a se estabilizar. Portanto, para expressar diâmetros iguais e/ou menores aos encontrados nesse estudo, a relação dap/diâmetro de copa foi considerada consistente.

3.2.4 Avaliação dos índices de competição

Na TABELA 1.6 são apresentadas as equações selecionadas, as estatísticas $Syx\%$ e $R^2_{ajustado}$ utilizadas para a escolha das melhores equações, bem como as correlações dos índices com o dap. Quando da ocorrência de parâmetros β_0 não

significativos, foi realizado o reajuste sem o referido parâmetro, obtendo-se apenas o modelo reduzido.

TABELA 1.6 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA DESCREVER OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO

Índice	r	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	Equação	R^2_{aj}	S_{yx} %
IID1	0,924*	16,4277	19,1372		1	0,85	16,67
IID2	0,906*	14,6287	13,1944		1	0,82	18,47
IID3	0,852*		27,6731		0	0,69	23,88
IID4	0,843*	16,6299	12,5356	-0,8134	2	0,85	16,68
IID5	0,952*		34,2779		0	0,90	13,59
IID6	-0,627*	55,6130	-132,9635	144,1749	2	0,63	26,40
IID7	-0,557*	71,8755	-4,7262		1	0,29	36,32
IID8	-0,896*	56,1657	-6,1897	0,2190	2	0,82	18,51
IID9	-0,808*	72,3730	-5,3971	0,1140	2	0,84	17,45
IID10	0,945*		47,4526		0	0,89	14,31
IDD1	-0,765*	62,1071	-15,2587		1	0,59	28,14
IDD2	0,716*	22,3576	7,0751		1	0,50	30,50
IDD3	0,868*	13,9439	1,1194	-0,0063	2	0,81	19,07
IDD4	-0,441*	60,0497	-15,7731		1	0,18	39,23
IDD5	-0,565*	56,4814	-51,6688	16,9765	2	0,45	32,11
IDD6	-0,786*	60,5990	-16,2232	1,2180	2	0,81	18,79
AC1	-0,867*	73,8905	-41,2210	6,7814	2	0,90	13,67
AC2	-0,747*	66,3732	-4,4375		1	0,55	29,08
AC3	-0,745*	57,7878	-2,6524	0,0351	2	0,70	23,49
AC4	-0,837*	78,2085	-7,4543	0,2057	2	0,85	16,60
AC5	-0,717*	51,2368	-0,9177	0,0044	2	0,71	23,38
AC6	-0,815*	63,1519	-23,1751	2,4319	2	0,86	16,41
AC7	-0,673*	47,4713	-2,3018	0,0309	2	0,60	27,42
ASC1	-0,826*	61,0469	-21,4958	2,4146	2	0,75	21,55
ASC2	-0,652*	88,1533	-0,2427		1	0,41	33,15
ASC3	-0,858*	104,8837	-0,6067	0,0011	2	0,77	20,66
ASC4	-0,809*	60,9819	-20,4398	2,1548	2	0,74	22,07
ASC5	-0,737*	47,8005	-7,7730		1	0,53	29,55
ASC6	-0,624*	45,5266	-0,0069	3,80E-07	2	0,49	30,98

Em que: *significativos a 95% de probabilidade; r = correlação; β_i = parâmetros dos modelos; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; S_{yx} = erro padrão da estimativa em porcentagem; Equações 0, 1 e 2 são respectivamente: $(y = \beta_1 x)$; $(y = \beta_1 x + \beta_0)$; e $(y = \beta_2 x^2 + \beta_1 x + \beta_0)$, sendo y = diâmetro/incremento em diâmetro e, x = índice de competição.

FONTE: O autor (2015)

Dentre os índices independentes da distância de melhor desempenho, ou seja, maiores correlações com o diâmetro, menores erros e melhores distribuições de resíduos (FIGURA 1.9) e também maiores valores de $R^2_{ajustado}$, destacaram-se os

índices de Stage (1973) (IID5) e de Tomé e Burkhart (1989), considerando o diâmetro máximo (IID10), relacionados com a árvore de área basal média e a árvore de maior área basal/diâmetro respectivamente.

Martins *et al.* (2011), estudando competição em *Eucalyptus* sp., discutem que o índice de Stage (1973) (IID5) e o índice de BAL (IID6) são bons índices de competição, e não necessitam informações espaciais de cada árvore.

Já Mattos (2007) ao incluir os índices de Stage (1973) (IID5) e BAL (IID6) em modelos, constatou que os mesmos não melhoraram significativamente os seus ajustes. No entanto, com a inclusão do índice BAL no modelo foram obtidos erros de 12,33%, 16,94% e 8,10% para as espécies *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Vell. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud., respectivamente, sendo considerados erros baixos, se comparados ao do presente estudo (TABELA 1.6).

Em seguida, os menores erros e melhores distribuições de resíduos (FIGURA 1.8) foram obtidos pelos índices de Glover e Hool (1979) (IID1) e sua modificação proposta por Daniels *et al.* (1986) que combina o diâmetro e altura (IID4), porém com uma leve tendência de subestimar o diâmetro/incremento em diâmetro nas árvores das menores classes de diâmetro, que sofrem mais competição. Essa mesma tendência dos resíduos pode ser observada na modificação proposta por Daniels *et al.* (1986), que considera apenas altura (IID2) e que difere de IID1, pois não utiliza a árvore objetivo na média dos diâmetros, o que levou ao aumento do erro. O IID3, que considera apenas o diâmetro, dentre as modificações do índice de Glover e Hool apresentou maior erro e distribuição de resíduos tendenciosa, possivelmente por utilizar apenas a altura para refletir a competição.

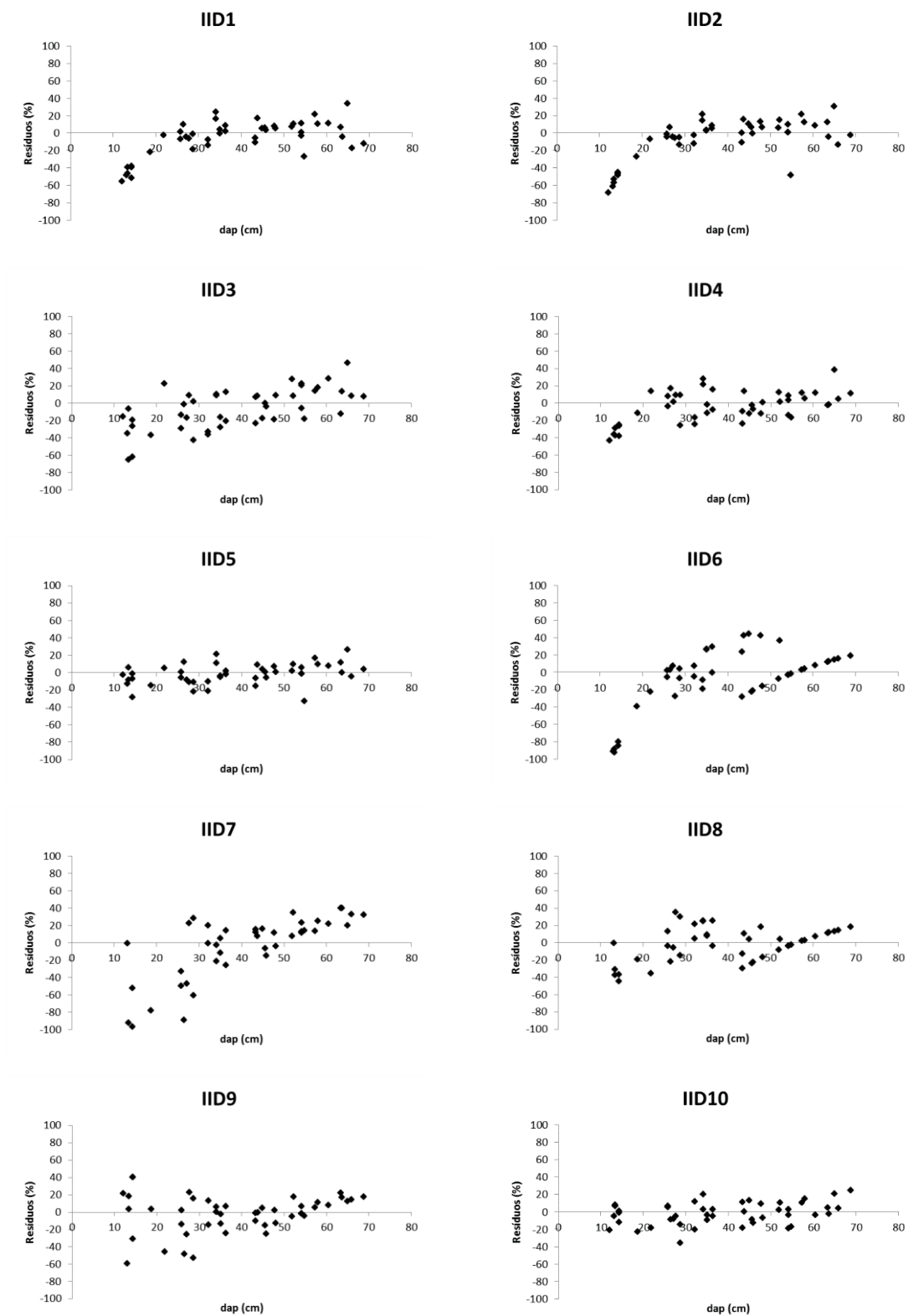


FIGURA 1.9 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO INDEPENDENTES DA DISTÂNCIA
 FONTE: O autor (2015)

Segundo D'Amato e Puettmann (2004), desigualdades de altura dentro de uma população podem resultar na preferência dos recursos por luz dos indivíduos mais altos. Em populações com diferenciação do dossel em camadas, a altura relativa da árvore objetivo expressa seu status social atual em comparação com os vizinhos (HOLMES; REED, 1991). Nesses casos pode-se obter bom desempenho quando se utiliza índices que levam em consideração a altura das árvores, conforme obtido por Castagneri *et al.* (2008). No entanto, no povoamento em estudo, essa situação não aconteceu. As condições são de um dossel homogêneo, mesmo quando se compara as árvores com maiores diferenças de diâmetro, visto que se trata de um povoamento maduro e, portanto, já atingiu seu máximo em altura. Dessa forma, índices baseados apenas na altura total, não são bons descritores da dinâmica competitiva.

Chassot *et al.* (2011), modelando o crescimento em diâmetro para árvores individuais de *Araucaria angustifolia*, presentes em remanescente de Floresta Ombrófila Mista no Rio Grande do Sul, utilizaram índices de competição independentes de distância. Os autores não constataram eficiência em explicar o crescimento dos indivíduos, utilizando os índices de Glover e Hool (1979) (IID1), e duas de suas modificações propostas por Daniels *et al.* (1986) (IID3 e IID4).

Daniels *et al.* (1986) correlacionando o dap com o Índice de Glover e Hool (1979) (IID1), para plantio com espaçamento inicial de 1,8 m x 1,8 m de *Pinus taeda* L., encontraram valor de 0,2355, sendo muito inferior a correlação aqui encontrada. No entanto, para aquela situação o povoamento apresentava aproximadamente 20 anos, idade bem reduzida em relação ao povoamento de *Araucaria angustifolia* em estudo, além de ter sofrido intervenções de desbaste, possuindo, em alguns talhões, apenas 247 árvores.ha⁻¹.

Devido à vantagem de ser independente do espaço e explicar boa parte da variação do crescimento, o índice de Glover e Hool (1979) foi amplamente recomendando para determinar a competição de povoamentos homogêneos de mesma idade, tamanho e crescimento potencial. Entretanto, o índice pode perder sua funcionalidade em povoamentos mistos de diferentes idades, onde comumente encontram-se indivíduos competidores de menor diâmetro (elevada relação h/dap) (CUNHA; FINGER, 2013).

Os índices IID8 e IID9 apresentaram resíduos tendenciosos (FIGURA 1.9), principalmente superestimando a competição nas maiores classes de dap. O índice de Cole e Lorimer (1994) (IID8) considera como competidoras somente as árvores de

copa maior que a objetivo e, por isso, parece não estar refletindo a verdadeira competição, uma vez que as árvores menores também concorrem por água, luz e nutrientes. Além disso, o crescimento sob competição já descaracterizou o crescimento normal da copa.

Para prever o incremento em volume de *Pinus banksiana* Lamb. e *Populus tremuloides* (Michx.), Mugasha (1989) selecionou índices baseados na seleção de todas as árvores da amostra, em detrimento daquelas que definem como árvores competidoras aquelas com classe de copa igual ou maior que a árvore objetivo.

Esta situação leva à discussão sobre a definição da zona de influência ideal para o uso de um índice de competição para árvores individuais que inclua todas as competidoras e fontes de competição por recursos. Segundo Biging e Dobbertin (1995) essa definição é bastante difícil, já que a competição acima do solo concentra-se na área ocupada pelas copas, mas a competição radicular é difusa e praticamente imprevisível.

Daniels (1976), modificando o índice independente de Hegyi (1974), incorporou uma relação para selecionar concorrentes. Esse autor descobriu que maiores correlações de crescimento em diâmetro foram alcançadas quando o índice incluiu mais árvores concorrentes (ou seja, usando um fator de área basal mais baixo).

No entanto, vale lembrar que o índice de Cole e Lorimer (1994) (IID8) é uma modificação do índice de Lorimer (1983) (IID7), que também não apresentou bons resultados, inclusive foram piores que do IID8 (TABELA 1.6). Sendo assim, possivelmente as características do índice não refletem diretamente a competição. Além disso, aparentemente a forma de definir a zona de influência neste caso, não foi decisiva para a obtenção de bons resultados dos índices com relação a competição.

No trabalho de Cole e Lorimer (1994), ao estimar o crescimento em área basal em função do índice por eles proposto (IID8), para *Acer saccharum* Marsh., obtiveram R^2 de 0,66 e erro de 0,43; para *Fraxinus americana* L. R^2 de 0,69 e erro 0,44; e para *Tilia americana* L. R^2 de 0,34 e erro de 0,59.

O índice de Corona e Ferrara (1989) (IID9), apesar das tendenciosidades, mostrou-se superior ao índice de Lorimer (1983) (IID7), o que corrobora a afirmação de Corona e Ferrara (1989), que ao sugerirem uma modificação do índice de competição desenvolvido por Lorimer (1983), afirmam ser mais aceitável, a partir de um ponto de vista biológico, modificar o índice elevando-se os diâmetros ao quadrado.

Castagneri *et al.* (2008), avaliando 14 índices de competição com o incremento em área basal, incluindo índices que envolvem área de copa, em dois povoamentos de *Picea abies* (L.) Karst., obtiveram melhor desempenho, menores erros e maiores valores de R^2_{ajustado} , por índices independentes da distância. Na ocasião foram utilizados os índices de Daniels *et al.* (1986) (IID2) e Corona e Ferrara (1989) (IID9), que usam dap ao quadrado para representar o tamanho da árvore objetivo. Portanto, desde que o dap esteja correlacionado com o aumento da área basal, é esperado que esses índices apresentem relação com o crescimento em área basal.

Corona e Ferrara (1989), ao conduzirem estudo em plantio de 11 anos de *Pinus radiata* D. Don, concluíram que índices de concorrência não-espaciais têm uma capacidade preditiva não inferiores aos espaciais, pelo menos quando usados para plantações jovens de coníferas. Em plantios em linha, há pouca variação no arranjo espacial das árvores e, portanto, os efeitos da distância talvez não exerçam grandes influências na competição. Além disso, a competição em plantios jovens como o analisado pelos autores parece ser reduzida.

Dentre os índices independentes da distância, os que apresentaram as menores correlações com o diâmetro foram IID7 e IID6, sendo possível também observar, por meio das estatísticas do ajuste de equações de regressão, que possuem os maiores erros e também distribuições de resíduos tendenciosas (FIGURA 1.9).

Em teste sobre o efeito da concorrência de *Populus tremuloides* (Michx.) para o crescimento de *Picea glauca* (Moench) Voss. com índices dependentes e independentes da distância, os índices de BAL (IID6) e de Lorimer (1983) (IID7) mostraram-se limitados em sua capacidade de prever o crescimento (FILIPESCU; COMEAU, 2007).

Semelhante a correlação encontrada para o índice de Lorimer (1983) (IID7) no presente estudo, Holmes e Reed (1991) encontraram correlações entre o crescimento em diâmetro e o referido índice de -0,48 para *Acer rubrum* L. e -0,55 para *Quercus rubra* Michx. f.

Martins *et al.* (2011), testando índices de competição em plantio jovem não desbastado de clones de eucalipto, encontraram as melhores correlações com o crescimento dimensional em diâmetro para o índice de BAL (IID6), sendo de -0,74, -0,64 e -0,63, nas classes de produtividade alta, média e baixa, respectivamente. Esses resultados estão muito próximos ao encontrado para o índice de BAL no

presente estudo, porém resultou no segundo pior desempenho dentre os índices independentes da distância testados.

Apesar do baixo desempenho no presente estudo, o índice de BAL tem sido amplamente utilizado em modelos de árvores individuais, podendo-se citar o PROGNOSIS (STAGE, 1973) em florestas mistas de coníferas da América do Norte, PROGNAUS (STERBA; MONSERUD, 1995¹³; *apud* MONSERUD; STERBA, 1996) em florestas alpinas mistas inequianêas e TWIGGS-model (MINER *et al.*, 1988).

Conforme relatado por Cunha e Finger (2013) muitos dos estudos de competição entre árvores tem focado no desempenho médio, por exemplo, do crescimento diamétrico, em relação com a densidade do povoamento, com o uso do índice de BAL. Entretanto, segundo os autores, utilizar somente a densidade como uma medida da competição para avaliar o desempenho das árvores em floresta mista, pode resultar em modelos tendenciosos, uma vez que os efeitos da variação, que podem ser grandes, são mascarados, o que reforça a cautela em considerar o uso de modelos não espaciais na modelagem do crescimento de florestas mistas. A mesma cautela deve ser tomada para povoamentos equianêos em idades avançadas e não manejados, já que devido a alta mortalidade ocasionada pela competição, a distância absoluta entre as árvores aumenta e, assim, a concorrência espacial passa a depender da idade do povoamento.

Avaliando os índices dependentes da distância sem influência da área de copa, destacou-se com melhor desempenho o de Moore *et al.* (1973) (IDD3) seguido por um dos índices de Rouvinen e Kuuluvainen (1997) (IDD6).

Moore *et al.* (1973), ao desenvolverem um novo índice (IDD3), baseando-se no conceito de área potencialmente disponível, proposto por Brown (1965), encontraram correlação com o incremento em área basal das espécies *Quercus alba* L., *Quercus velutina* Lam. e *Liriodendron tulipifera* L. de 0,61, 0,61 e 0,71 respectivamente, contra 0,40, 0,57, 0,68 de correlações com o índice de Bella (ASC1), mostrando correlações maiores para o índice não baseado na área de copa.

Castagneri *et al.* (2008), considerando índices dependentes e independentes da distância para dois povoamentos de *Picea abies* (L.) Karst, obtiveram melhores

¹³ STERBA, H.; MONSERUD, R. A. Validation of the Single Tree Stand Growth Simulator PROGNAUS with Permanent Plot Data. In: M. Kohl (Editor), Proc. of 1995 IUFRO World Congress, Tampere, Finland. Swiss Federal Institute for Forest, Snow, and Landscape Research, Birmensdorf, in press. 1995.

resultados para os índices independentes da distância, assim como observado de forma geral no presente estudo. No entanto, dentre os índices dependentes da distância e que não levaram em consideração a variável área de copa, os autores encontraram pior desempenho para o IDD5 e o melhor desempenho foi para o IDD6 (ambos índices de Rouvinen e Kuuluvainen, 1997). Vale destacar que o segundo melhor índice dependente da distância do presente trabalho foi o IDD6, que apresentou o menor erro, porém distribuição de resíduos relativamente tendenciosos (FIGURA 1.10), principalmente se comparado ao índice de Moore *et al.* (1973) (IDD3).

Dentre os índices dependentes da distância, IDD4 (Índice de Braathe, 1980), IDD5 (Índice de Rouvinen e Kuuluvainen, 1997), IDD2 (Índice de Martin e Ek, 1984, modificação do índice de Hegyi) e IDD1 (Índice de Hegyi, 1974), respectivamente, apresentaram as correlações mais baixas com o diâmetro, e também apresentaram erros altos e distribuição de resíduos tendenciosos (FIGURA 1.10).

Pukkala e Kolstrom (1987) correlacionando o índice de Braathe (1980) (IDD4) com o crescimento radial de 5 anos de pinheiro silvestre no norte da Finlândia, encontraram valor de -0,444, semelhante ao observado na correlação com o diâmetro no presente trabalho (-0,441). Esse índice baseia-se apenas na distância e altura das árvores, não levando em consideração a área basal resultante, o que justifica o seu pior desempenho, conforme também se revelou o IID3 (Modificação do índice de Glover e Hool (1979), proposta por Daniels *et al.* (1986), que considera apenas a altura das árvores).

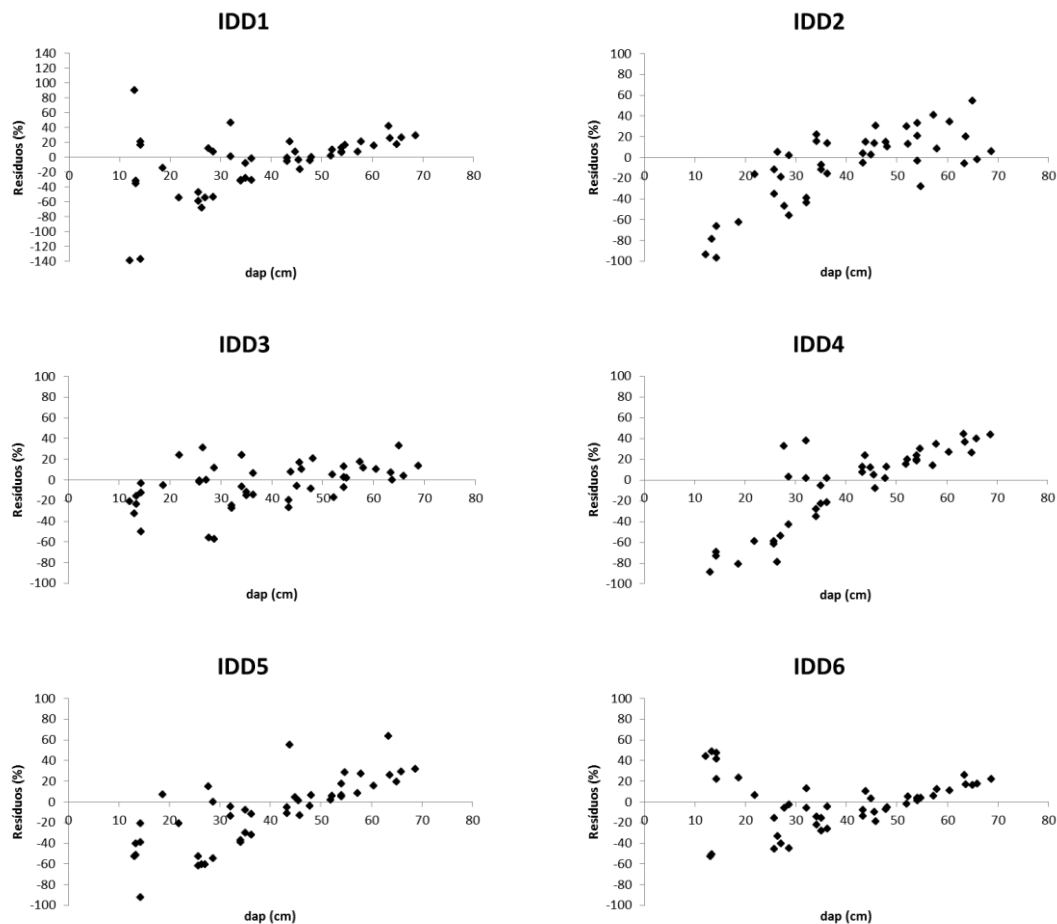


FIGURA 1.10 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO DEPENDENTES DA DISTÂNCIA
 FONTE: O autor (2015)

O índice de Braathe (1980) (IDD4) quando testado por Contreras *et al.* (2011), resultou em correlação com a área basal de -0,357, sendo a segunda pior correlação dentre nove índices dependentes da distância testados. Já o índice de Hegyi (1974) (IDD1) assumiu a segunda maior correlação (-0,773) obtida por aqueles autores.

Mailly *et al.* (2003) testaram índices independentes e dependentes da distância e verificaram que o índice de competição de Hegyi (1974) (IDD1) foi a medida de concorrência mais bem correlacionada ($r = -0,57$) com o crescimento da área basal média dos últimos 20 anos. Esse valor, 12% maior do que o valor obtido a partir do melhor índice de competição independente da distância mostrou claramente os ganhos de precisão que podem ser obtidos quando a estimativa de incremento em área basal é realizada com índices espaciais em povoamentos de *Picea mariana* (Mill.).

Holmes e Reed (1991), aplicando o índice de Hegyi (1974) (IDD1), dependente da distância, encontraram correlações entre o crescimento em diâmetro ligeiramente menores do que quando utilizaram o índice de Lorimer (1983) (IID7), que no presente trabalho foi o pior dentre os independentes da distância. No entanto, recomendaram o uso do índice de Hegyi (1974) para prever o crescimento em diâmetro.

Daniels (1976) encontrou correlação máxima de -0,415 entre o incremento em diâmetro de *Pinus taeda* com o índice de Hegyi (1974), sendo mais baixa que a encontrada no presente trabalho (-0,765). Contreras *et al.* (2011) encontraram resultado semelhante com correlação de -0,773 para o mesmo índice com o incremento em área basal.

Hegyi (1974) obteve correlações de -0,537 e -0,385 entre o seu índice de competição e o crescimento em diâmetro de 5 anos, em um povoamento de *Pinus banksiana*, sendo menores do que as aqui encontradas. Apesar das baixas correlações encontradas por Hegyi (1974), este índice tem sido amplamente utilizado (LORIMER, 1983; HOLMES; REED, 1991; ALVAREZ TABOADA *et al.*, 2003; FILIPESCU; COMEAU, 2007; CASTAGNERI *et al.*, 2008).

Martin e Ek (1984), testando o índice por eles proposto (IDD2), para o crescimento em diâmetro de *Pinus resinosa* Ait, encontraram valores de erro de 0,365 e 0,366 e valores de R^2 de 0,536 e 0,510, sendo valores próximos aos encontrados com os ajustes realizados para o povoamento de *Araucaria angustifolia* em estudo ($S_{yx}\% = 30,50$; $R^2_{ajustado} = 0,50$).

A obtenção de um melhor resultado para refletir a competição justificam o principal motivo para o desenvolvimento e utilização de índices dependentes da distância, e que também incluam variáveis de obtenção mais complexas, como a área de copa. Na FIGURA 1.11 podem ser observadas as distribuições dos resíduos para os índices com influência de área de copa (AC).

Assim, dentre os índices que incluem a área de copa para avaliar a competição, o índice de Alvarez Taboada *et al.* (2003) (AC1) apresentou melhor desempenho, seguido por duas de suas modificações propostas por Castagneri *et al.* (2008), que exclui a informação espacial e adiciona a altura total da árvore (AC4) e que acrescentam a informação espacial para razões simples de áreas da copa ponderadas pela altura (AC6).

Castagneri *et al.* (2008), em estudo com *Picea abies*, sugeriu que os índices por eles propostos mostram capacidade de representar adequadamente a situação competitiva de uma árvore. Na ocasião, encontraram resultados melhores em termos de erro e $R^2_{ajustado}$ para os índices AC4 e AC6, quando comparado ao AC1.

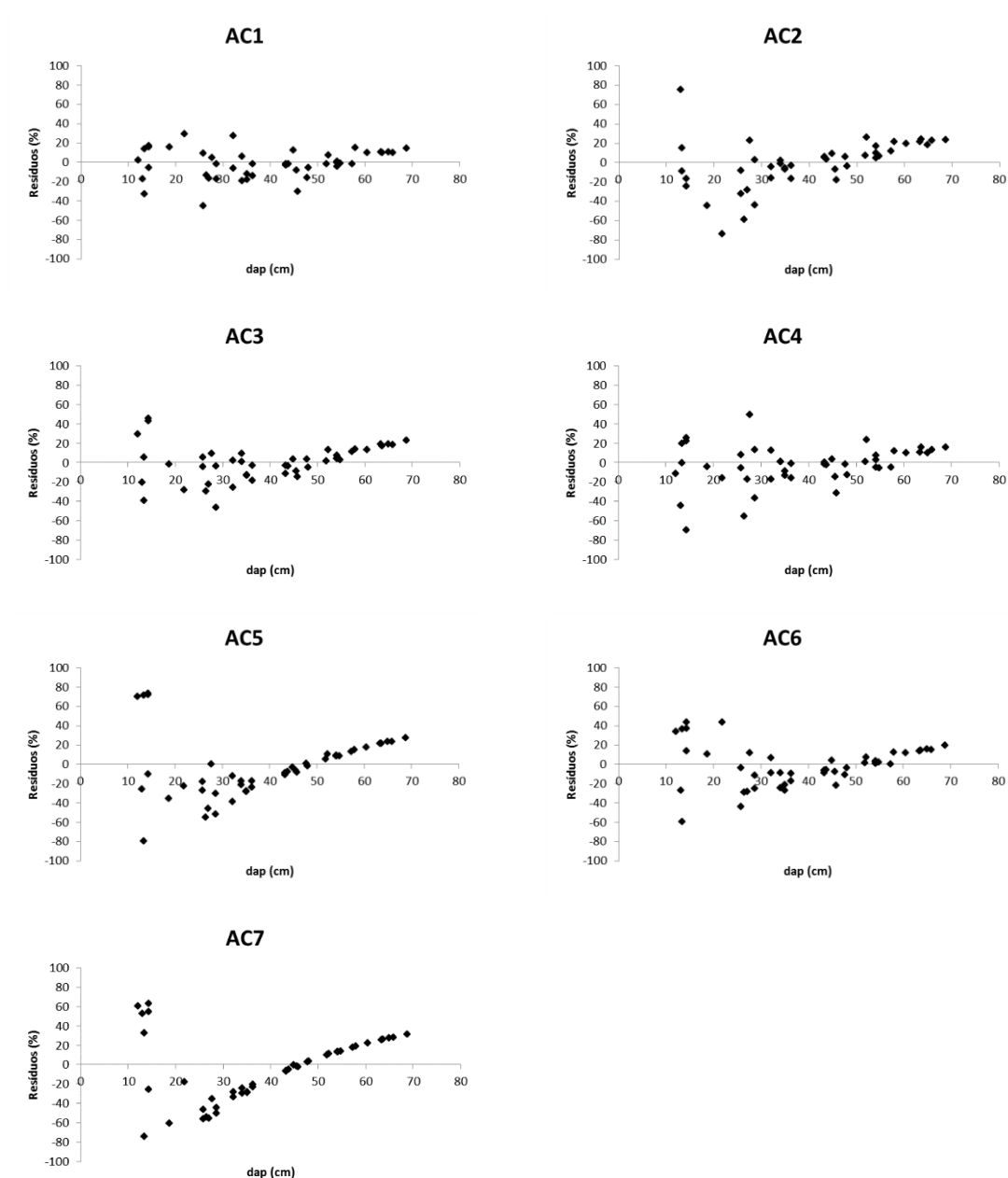


FIGURA 1.11 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO DEPENDENTES DA DISTÂNCIA COM INFLUÊNCIA DE ÁREA DE COPA
FONTE: O autor (2015)

Para selecionar índices de área de sobreposição de copa que reflitam a competição sofrida pelo povoamento em estudo, levando em consideração as estatísticas de correlação, $S_{yx}\%$, $R^2_{ajustado}$ e principalmente as tendências observadas na distribuição dos resíduos (FIGURA 1.12), destacam-se os índices de Bella (1971) (ASC1) e o de Ek e Monserud (1974) (ASC4).

A modificação do índice de Arney (1973) (ASC2) proposta por Wimberly e Bare (1996) (ASC3) que considera como competidoras apenas as árvores de área basal igual ou maior que a objetivo, apesar de apresentar a maior correlação com o dap e o menor erro no modelo, apresentou resíduos tendenciosos, uma vez que para todas as árvores que não possuem competidoras dentro do critério estabelecido, é atribuído o mesmo valor (100). Assim, o valor será igual para a maioria das árvores nas maiores classes de diâmetro, mesmo que a competição exercida seja diferente, de forma que o índice não a reflete bem.

No entanto, Rivas *et al.* (2005), avaliando 18 índices de competição que explicam o crescimento em área basal de *Pinus cooperi* Blanco, concluíram que nenhuma das opções de índices de sobreposição de copa, que incluiu o índice de Bella (1971) (ASC1), mostrou contribuição significativa para o modelo de crescimento quando comparado ao uso de qualquer outro índice independente da distância.

Contreras *et al.* (2011) verificaram que alguns dos modelos independentes da distância apresentaram valores mais elevados de $R^2_{ajustado}$ do que modelos com base nos índices dependentes da distância, como o índice de Bella (1971) (ASC1). O mesmo pode ser verificado no presente trabalho, uma vez que os índices de sobreposição de copa de melhor desempenho, apesar da maior complexidade nos cálculos, gerou erros maiores que os índices mais simples.

Os índices de Arney (1973) (ASC2) e os índices de Cole e Lorimer (1994) (ASC5 e ASC6) apresentaram as menores correlações com o diâmetro, os maiores erros e distribuição de resíduos tendenciosa (FIGURA 1.12).

Cole e Lorimer (1994), estimando o crescimento em área basal em função do índice (ASC5), para *Acer saccharum*, obtiveram R^2 de 0,79 e erro de 0,26; sendo melhores ao encontrado no presente trabalho.

Daniels (1976) encontrou correlação do crescimento em diâmetro com o índice de Arney (1973) ($r = -0,271$) menor que a correlação para o índice de Ek e Monserud (1974) ($r = -0,424$), assim como no presente trabalho (Arney = -0,652; Ek e Monserud = -0,809). Já Daniels *et al.* (1986) encontraram correlação do dap de *Pinus*

taeda de -0,660 com o índice de Arney (1973) (ASC2) e -0,632 com o índice de Ek e Monserud (1974) (ASC4).

Holmes e Reed (1991), avaliando índices de competição para quatro espécies, encontraram correlação com o crescimento em diâmetro variando entre -0,32 a -0,43 para o índice de Arney (1973) (ASC2) e correlações entre -0,36 a -0,55 para o índice de Bella (1971) (ASC1) com expoente 1, sendo o desempenho de Bella (1991) superior ao de Arney (1973), assim como verificado no presente trabalho (Bella = -0,826).

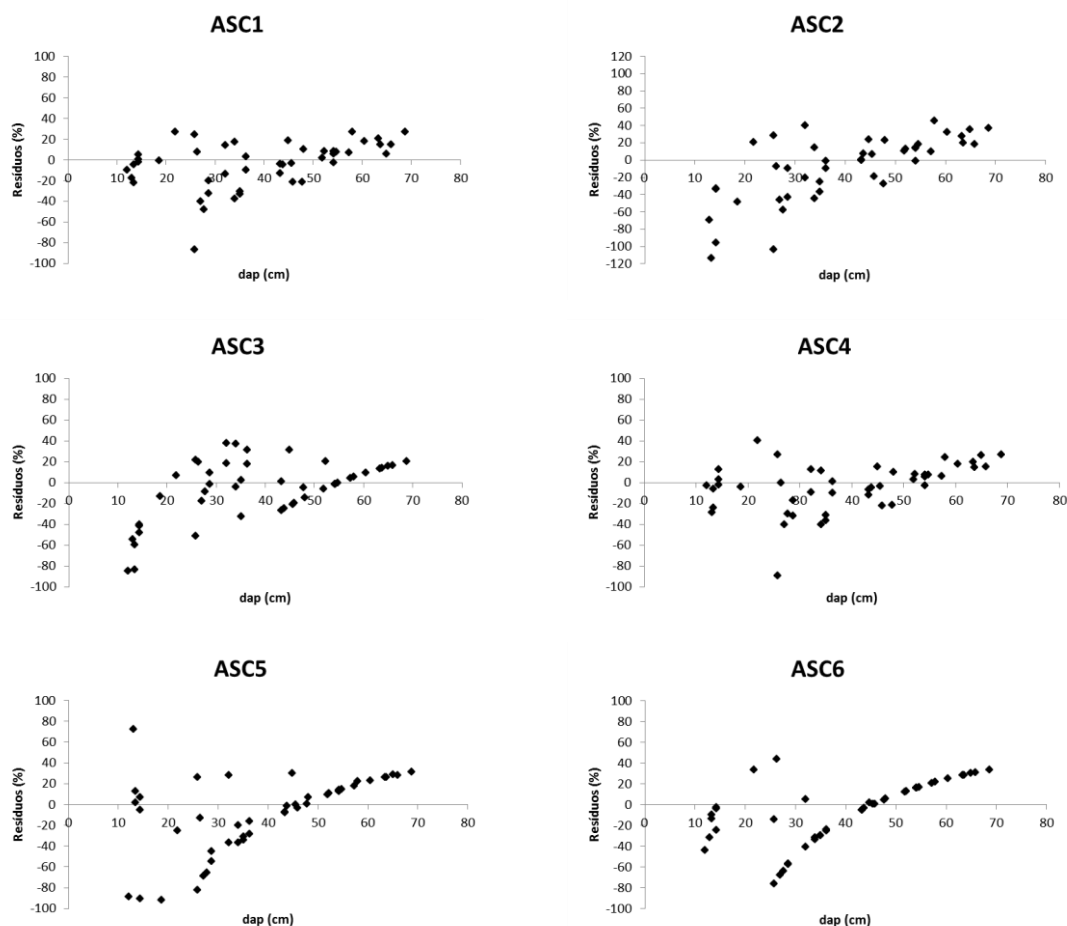


FIGURA 1.12 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO DEPENDENTES DA DISTÂNCIA COM INFLUÊNCIA DE ÁREA DE SOBREPOSIÇÃO COPA

FONTE: O autor (2015)

De modo a facilitar a visualização, na TABELA 1.7 estão apresentados os índices de competição que apresentaram melhor desempenho em cada categoria de índices testados.

TABELA 1.7 - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO SELECIONADOS

Classificação do Índice	Autor	Fórmula	r	R ² _{ajustado}	S _{yx} %
Independente da Distância	Stage (1973)	$IID5 = \frac{d_i}{q}$	0,952*	0,90	13,59
Dependente da Distância	Moore et al. (1973)	$IDD3 = \sum_{j=1}^n \frac{d_i^2}{d_i^2 + d_j^2} \cdot L_{ij}$	0,868*	0,81	19,07
Área de Copa	Alvarez Taboada et al. (2003)	$AC1 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_j}{a_i \cdot L_{ij}} \right)$	-0,867*	0,90	13,67
Área de Sobreposição de Copa	Ek e Monserud (1974)	$ASC4 = \sum_{j=1}^n \left[\frac{a_{ij}}{a_i} \frac{R_j \cdot h_j}{R_i \cdot h_i} \right]$	-0,809*	0,74	22,07

em que: d_i e d_j = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (dap) da árvore principal i e da árvore competidora j (cm), respectivamente; h_i e h_j = altura total da árvore principal i e da árvore competidora j (m), respectivamente; q = diâmetro quadrático (cm); L_{ij} = distância entre a árvore principal e a árvore competidora (cm); a_i e a_j = área de copa da árvore principal i e da árvore competidora j (m²), respectivamente; a_{ij} = área de sobreposição entre a árvore principal i e a árvore competidora j (m²); R_i e R_j = raio médio da copa da árvore principal i e competidora j (m), respectivamente.

3.2.5 Considerações sobre os índices de competição

A inclusão de variáveis de obtenção mais complexas, como distância e área de copa, são justificadas quando há obtenção de um melhor resultado para descrever a competição, porém o uso de índices dependentes da distância tem sido bastante controverso.

De acordo com Cole e Lorimer (1994) as variáveis de copa podem ajudar a melhorar a precisão das projeções de longo prazo, uma vez que um modelo baseado na copa pode proporcionar uma restrição natural ao desenvolvimento do povoamento, porque há limites físicos para quantas copas de um determinado tamanho podem ocupar o espaço acima do dossel em uma unidade de área.

Biging e Dobbertin (1992) concluíram que a inclusão de parâmetros estimados de copa melhorou substancialmente o desempenho das medidas dependentes da

distância. Melhores resultados com os índices de competição usando a área de projeção de copa foram obtidos também por Oheimb *et al.* (2011).

Davies e Pommerening (2008), investigando o potencial do uso de índices de competição, mostraram que variáveis espaciais podem contribuir para modelos eficazes de raio e comprimento de copa para o crescimento das espécies em uma variedade de estruturas de povoamento, podendo render particularmente grandes ganhos de desempenho do modelo em povoamentos superestocados, onde as interações entre as copas são excepcionalmente intensas.

O povoamento em estudo encontra-se superestocado, no entanto a inclusão da variável área de copa, na maioria dos casos, não melhorou o desempenho dos modelos, à exceção do modelo de Alvarez Taboada *et al.* (2003) (AC1), que apresentou desempenho semelhante ao do índice de competição independente da distância de melhor desempenho, Stage (1973) (IID5).

O'Neal *et al.* (1994) comentaram que o grau de competição entre indivíduos de um determinado nível de estoque depende das características das copas. Por exemplo, duas árvores podem ter o mesmo dap e estar a uma mesma distância em relação a uma árvore objetivo, mas possuírem copas muito diferentes, exercendo influências diferenciadas na copa da árvore objetivo. Embora a diferença de influência competitiva seja evidente, os índices baseados unicamente em dap e distância entre árvores, resultaria valores de concorrência idêntica.

Vettenranta (1999), considerando o conhecimento da distribuição espacial das árvores como crucial, sugere que não há nenhuma razão implícita (natural) de que a concorrência pare de repente à certa distância, mas é mais realista supor que a competição diminui à medida que a distância da árvore objetivo aumenta.

No entanto, Stage (1973), em seu estudo de crescimento, mostra que se o desenvolvimento da copa da árvore objetivo e a sua posição relativa dentro da distribuição do diâmetro do povoamento são incluídas no modelo estatístico, pouco valor explicativo é adicionado. Holmes e Reed (1991) concluíram que alguns índices de competição mais complexos, como os de área de zona de influência, não produzem estimativas superiores aos índices mais simples. Moravie *et al.* (1999), também não encontraram superioridade nos índices mais complexos, e relataram que a capacidade dos diferentes índices de prever o incremento em diâmetro não está ligada à sua complexidade nem com a quantidade de dados amostrados, mas sim relacionada com a espécie avaliada e condições da floresta.

De acordo com Biging e Dobbertin (1995), em alguns casos, os índices independentes da distância obtêm melhor desempenho uma vez que são gerados em uma parcela ou mesmo em um povoamento todo, enquanto que os dependentes são calculados em uma zona cujo raio é usualmente menor.

No entanto, muitos autores concordam que índices de competição dependentes da distância em geral, são superiores aos índices independentes da distância (DANIELS, 1976; MARTIN; EK, 1984; MUGASHA, 1989; MAILY *et al.*, 2003; CONTRERAS *et al.*, 2011).

Mugasha (1989) cita que em trabalhos como os de Ganzlin e Lorimer (1983)¹⁴, Alemdag (1978)¹⁵ foram verificados que os índices independentes de distância são superiores aos dependentes da distância. No entanto, de acordo com o autor, esses estudos estão todos envolvidos em plantações em linha, em que houve pouca variação no arranjo espacial das árvores e, portanto, os efeitos da distância foram implicitamente eliminados.

No caso do presente trabalho, a área da parcela para os índices independentes da distância é a mesma que na aplicação dos índices dependentes. Além disso, mesmo se tratando de um plantio em linhas, o arranjo espacial foi modificado com desbastes realizados entre as décadas de 1970 e 1980, pela mortalidade ao longo dos anos e também pela regeneração de diferentes espécies, pela falta de manejo.

Os índices de competição espaciais quando utilizados em povoamentos equiâneos são considerados dependentes da idade, já que com o manejo de condução do povoamento, o aumento da idade e a distância absoluta entre as árvores também aumenta, em função de desbastes. Dessa forma, o índice pode apresentar outro comportamento tornando a sua habilidade explicativa dependente destas variações (CUNHA; FINGER, 2013).

Em florestas mistas é preferível utilizar modelos de competição dependentes da distância (COLE; LORIMER, 1994, ZHAO *et al.*, 2004). Isso porque, o efeito de árvores vizinhas sob o crescimento da árvore objetivo decresce com a distância. Já em povoamentos puros e relativamente uniformes, os índices independentes da

¹⁴ GANZLIN, W. K.; LORIMER, C. G. Test of a rapid field method for evaluating competition around individual trees. Univ. of Wisconsin, Madison, For. Res. Note 253, 6 pp. 1983.

¹⁵ ALEMDAG, I. S. Evaluation of some competition indexes for the prediction of diameter increment in planted white spruce. For. Manage. Inst. Inform. Rep. FRM-X-108, 39 pp. 1978.

distância são preferidos, pois produzem prognoses acuradas dos efeitos da competição (LORIMER, 1983).

No entanto, estudos como os de Holmes e Reed (1991) e Wimberly e Bare (1996), ambos em florestas mistas, observaram que vários índices dependentes da distância são similares aos independentes da distância, na capacidade de estimar o crescimento.

Em povoamentos adultos de mesma idade de *Pinus cooperi* Blanco, Rivas *et al.* (2005) avaliando o quão bem índices de competição dependentes e independentes da distância explicam o crescimento em área basal de árvores individuais, verificaram que os melhores índices de competição independentes da distância resultaram em desempenho tão bom quanto os melhores índices de competição dependentes da distância.

E devido a pouca diferença na habilidade preditiva entre os diversos tipos de índices de competição, de acordo com Tonini (2007), deveria ser dada maior atenção aos índices mais simples, desde que acompanhados de estudo para maior compreensão do significado ecológico e não somente a habilidade estatística em prever o crescimento em curto prazo de um índice de competição.

Cunha e Finger (2013) alertam que alguns aspectos devem ser considerados antes de interpretar a significância dos índices de competição, sendo eles: o método de cálculo da competição, uma vez que segundo Larocque (2002), os índices são simples expressões matemáticas e que não necessariamente representam todo o processo ontogênico da competição; e as diferenças que podem ser obtidas nos resultados em função do método de seleção de indivíduos competidores.

Muitos métodos para a seleção de concorrentes estão disponíveis, conforme pode ser visto em Biging e Dobbertin (1992), Alvarez Taboada *et al.* (2003) e Rivas *et al.* (2005). No entanto, de acordo com Tonini (2007) definir uma zona exata em que ocorre a influência de árvores vizinhas competidoras é bastante difícil. Variações no raio amostral de seleção fazem com que, normalmente, o raio amostral de seleção seja maior para as maiores árvores, assim, as mesmas possuem um número maior de competidores e, conseqüentemente, um índice de competição mais alto. Essa relação pode não ser real e indicar somente que o crescimento observado é positivamente correlacionado com o tamanho da árvore objetivo.

Para o presente trabalho, recorreu-se ao conceito de zona de influência proposto por Staebler (1951,¹⁶ citado por NEWNHAM, 1964), onde se considera a superfície bidimensional na qual as árvores competem por recursos ambientais, sendo a competição existente quando as zonas de influência de duas árvores se sobrepõem, conforme também utilizado por Castagneri *et al.* (2008). Optou-se por esse método, uma vez que se fossem definidas as parcelas com raios fixos, em árvores de grande porte, pouco da competição seria refletida, e em árvores menores, muitas que não estão diretamente competindo seriam selecionadas. No entanto, considerando como competidoras todas as árvores que disputam o mesmo espaço aéreo com a objetivo, parece ser eficiente, uma vez que a competição mais facilmente observada ocorre por luz. A competição por água e nutrientes exigiria uma análise mais aprofundada, considerando a competição embaixo do solo, sendo esta inviável.

Arelada ao método de seleção de indivíduos competidores e de cálculo da competição, uma falha atribuída a maioria dos índices de competição é a independência em relação a direção dos competidores com relação a árvore objetivo, se ao mesmo lado ou em lados opostos, sendo a existência desta falha abordada por Tonini (2007).

Umeki (1995) concluiu a importância da posição das árvores vizinhas na determinação do crescimento e assimetria de copa. Miina e Pukkala (2002) compararam o desempenho de índices de competição para *Pinus sylvestris* L. e *Picea abies* (L.) Karst., com a inclusão da distribuição direcional dos competidores baseados na ecologia de campo apresentada por Wu *et al.* (1985)¹⁷, obtendo para os índices com base na teoria do campo ecológica melhores previsões em um modelo de crescimento do que quando utilizado o índice tradicional, sem o aditivo direcional. Assim, os índices de concorrência com base na teoria de campo ecológica podem melhorar a precisão das previsões de modelos de crescimento dependente de distância, tendo como desvantagem a maior complexidade, e a necessidade de uso combinado de programas de preparação dos dados, um algoritmo de otimização e ainda um software estatístico.

¹⁶ STAEBLER, G. R. Growth and spacing in an even-aged stand of Douglas fir. Univ. Mich., unpublished thesis, 46 pp. 1951.

¹⁷ WU, H.; SHARPE, P. J. H.; WALKER, J.; PENRIDGE, L. K. Ecological field theory: a spatial analysis of resource interference among plants. **Ecol. Modell.** v. 29, p. 215-243, 1985.

Atrelada a esta complexidade, de acordo com Barclay e Layton (1990), em longo prazo é necessário o conhecimento de mecanismos competitivos para avaliar mudanças no capital de nutrientes, água e luz para uma determinada planta ou comunidade, já em curto prazo, podem-se fazer previsões seguras baseadas na performance passada, pois o que se mede é em parte o resultado da concorrência no passado e não há nenhuma garantia de que essas ações não serão alteradas no futuro.

Portanto, os índices de competição constituem-se em uma forma simples e de baixo custo para investigar os efeitos de interações competitivas no crescimento e mortalidade das árvores, porém, em bases limitadas (TONINI, 2007).

4 CONCLUSÕES

Dentre as variáveis dendrométricas e morfométricas avaliadas, todas apresentam correlação significativa com o dap, sendo a de maior correlação o diâmetro de copa ($r=0,87$), o que justifica o cálculo da densidade máxima de árvores com base na área de projeção de copa.

Em uma população inicial de 2.500 árvores, a partir de 9 cm de dap médio, já se observa população superior à recomendada de acordo com o espaço vital requerido, por meio do método para interpretação do espaço disponível para as árvores do povoamento, em função do dap e do diâmetro de copa.

Ainda com base na aplicação do método para interpretação do espaço vital com base na área de copa, o número atual de árvores no povoamento é superior ao desejado para um povoamento manejado, portanto, considerando o dap médio atual do povoamento é indicada uma redução inicial de no mínimo 30%.

Dentre os índices independentes da distância (IID) o de melhor desempenho foi o índice de Stage (1973) (IID5), e dentre os índices dependentes da distância (IDD) foi o de Moore *et al.* (1973) (IDD3).

O índice de Alvarez Taboada *et al.* (1973) (AC1) é o de melhor desempenho dentre os índices com influência de área de copa, e dentre os índices com influência da área de sobreposição de copa, o índice de Ek e Monserud (1974) (ASC4) é o que apresenta melhor desempenho.

Os índices independentes da distância, de maneira geral, tem melhor desempenho estatístico que os demais para o povoamento superestocado de *Araucaria angustifolia* em estudo, sendo apenas o índice de Alvarez Taboada *et al.* (1973) (AC1) de desempenho comparável aos índices independentes da distância. No entanto, na área do presente estudo, mesmo se tratando de um plantio em linhas, o arranjo foi modificado com a realização de um desbaste, mortalidade e regeneração natural, de modo a tornar importante a inclusão da distância para avaliar a competição.

5 RECOMENDAÇÕES

Adotar espaçamentos iniciais maiores ao realizar plantios de *Araucaria angustifolia*, de modo que o momento de transição entre copas livres e em início de competição possa ocorrer mais tarde, visando postergar desbastes de condução e agregar valor ao material lenhoso retirado.

O espaço vital disponível com base no desenvolvimento e área de ocupação das copas deve ser observado para definir desbastes, no entanto, em plantios comerciais, fatores como sanidade das árvores, viabilidade econômica, dentre outros, também devem ser levados em consideração.

REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ TABOADA, M. F.; ANTA, M. B.; VARELA, J.G.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J. G. Influencia de la competencia en el crecimiento en sección en *Pinus radiata* D. Don. **Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.**, v. 12, n. 2, p. 25-35, 2003.
- ARNEY, J. D. Tables for Quantifying Competitive Stress on Individual Trees. Information Report BC-X-78, **Canadian Forestry Service**, Pacific Forest Research Centre, Victoria, B. C. 1973.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- BARCLAY, H. J.; LAYTON, C.R. Growth and mortality in managed Douglas fir: Relation to a competition index. **Forest Ecology and Management**, v. 36, p.187-204, 1990.
- BELLA, I. E. A new competition model for individual trees. **Forest Science**, v. 17, n. 3, p. 364-372, 1971.
- BIGING, G. S.; DOBBERTIN, M. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. **Forest Science**, v. 38, n. 3, p. 695-720, 1992.
- BIGING, G. S.; DOBBERTIN, M. Evaluation of Competition Indices in Individual Tree Growth Models. **Forest Science**, v. 41, n. 2, p. 360-377, 1995.
- BROWN, G. S. **Point density in stems per acre**. Forest Research Institute and New Zealand Forest Serv. n. 38. 1965. 11 p.
- CASTAGNERI, D.; VACCHIANO, G.; LINGUA, E.; MOTTA, R. Analysis of intraspecific competition in two subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in Paneveggio (Trento, Italy). **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 651-659, 2008.
- CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 303-313, 2011.
- CLARK, D. A.; CLARK, D. B. Getting to the canopy: tree height growth in a neotropical rain forest. **Ecology**, v. 82, n. 5, p. 1460-1472, 2001.
- COLE, W. G.; LORIMER, C. G. Predicting tree growth from crown variables in managed northern hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, v. 67, p. 159-175, 1994.

CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 1939-1949, 2011.

CORONA, P.; FERRARA, A. Individual Competition Indices for Conifer Plantations. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 27, p. 429-437, 1989.

CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Amazônia ocidental. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 1, p. 9-18, 2013.

D'AMATO, A. W.; PUETTMANN, K. J. The relative dominance hypothesis explains interaction dynamics in mixed species *Alnus rubra*/*Pseudotsuga menziesii* stands. **Journal Ecology**, v. 92, p. 450-463, 2004.

DANIELS, R. F. Simple Competition Indices and Their Correlation with Annual Loblolly Pine Tree Growth. **Forest Science**, v. 22, n. 4, p. 454-456, 1976.

DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal Forest Research**, Vancouver, v. 16, p. 1230-1237, 1986.

DAVIES, O.; POMMERENING, A. The contribution of structural indices to the modelling of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) and birch (*Betula spp.*) crowns. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 68-77, 2008.

DIETRICH, A. B. **Relações entre dados analíticos do solo: análise foliar e dados de crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149. 2001.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrella fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 79-89. 2004.

EK, A. R.; MONSERUD, R. A. Trials with program FOREST: Growth and reproduction simulation for mixed species even and or uneven-aged forest stands. In: FRIES, J. **Growth models for tree and stand simulation**. Stockholm Sweden: Royal College of Forestry, 1974. p. 56-73.

FILIPESCU, C. N.; COMEAU, P. G. Competitive interactions between aspen and white spruce vary with stand age in boreal mixedwoods. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 247, p. 175-184, 2007.

FUPEF - Fundação de Pesquisas florestais do Paraná. **Inventário florestal do pinheiro no sul do Brasil**: relatório final. Curitiba, FUPEF/IBDF, 1978. 199 p.

GLOVER, G. R.; HOOL, J. N. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. **Forest Science**, v. 25, n. 2, p. 275-282, 1979.

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S.; SCHNEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: SIMÕES, L. L.; LINO, C. F. **Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: SENAC, 2002. p. 85-102.

HEGYI, F. A simulation model for managing jack-pine stands. In: FRIES, J. **Growth models for tree and stand simulation**. Stockholm Sweden: Royal College of Forestry, 1974. p. 74-90.

HOLMES, M. J.; REED, D. D. Competition indices for mixed species northern hardwoods. **Forest Science**, v. 37, n. 5, p. 1338-1349, 1991.

INVENTÁRIO florestal: **FLONA de Açungui**: 4ª versão. Curitiba/PR: Serviço Florestal Brasileiro-SFB; Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBIO, 2012. 41 p. Relatório técnico (não publicado).

INOUE, M. T.; GALVÃO, F.; TORRES, D. V. Estudo ecofisiológico sobre *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.: Fotossíntese em dependência à luz no estágio juvenil. **Revista Floresta**. v. 10, n.1, p. 5-9, 1979.

KRAMER, P. J.; KOSLOWSKI T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 745 p.

LAROCQUE, G. R. Examining different concepts for the development of a distance-dependent competition model for red pine diameter growth using long-term stand data differing in initial stand density. **Forest Science**, v. 48, p. 24-34, 2002.

LARSON, P. R. Evaluating the environment for studies of the inheritance of wood properties. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST AND TREE IMPROVEMENT, 1., 1963, Stockholm. **Proceedings**. Rome: FAO, 1963. p. 1-6.

LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, no sul do Brasil**. 198 p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 1980.

LORIMER, C. G. Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, v. 6, p. 343-360, 1983.

MAILLY, D.; TURBIS, S.; POTHIER, D. Predicting basal area increment in a spatially explicit, individual tree model: a test of competition measures with black spruce. **Canadian Journal Forest Research**, v. 33, p. 435-443, 2003.

MARTIN, G. L.; EK, A. R. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. **Forest Science**, v. 30, n. 3, p. 731-743, 1984.

MARTINS, F. B.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; CASTRO, R. V. O. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 9, p. 1089-1098, 2011.

MATTOS, R. B. **Produtividade e incremento de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Vell. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud., em floresta nativa no Rio Grande do Sul**. 105 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MIINA, J.; PUKKALA, T. Application of ecological field theory in distance-dependent growth modelling. **Forest Ecology and Management**, v. 161, p. 101-107, 2002.

MINER, C. L.; WALTERS, N. R.; BEILI, M. L. A Guide to the TWIGS Program for the North Central United States. **General Technical Report NC-125**, St. Paul, MN: United States Department Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 105 p. 1988.

MONSERUD, R. A.; STERBA, H. A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 57-80, 1996.

MOORE, J. A.; BUDELSKY, C. A.; SCHLESINGER, R. C. A New Index Representing Individual Tree Competitive Status. **Canadian Journal Forest Research**, v. 3, n. 4, p. 495-500, 1973.

MORAVIE, M. A.; DURAND, M.; HOULLIER, F. Ecological meaning and predictive ability of social status, vigour and competition indices in a tropical rain forest (India). **Forest Ecology and Management**, v. 117, p. 221-240, 1999.

MUGASHA, A. G. Evaluation of simple competition indices for the prediction of volume increment of young jack pine and trembling aspen trees. **Forest Ecology and Management**, v. 26, p. 227-235, 1989.

NEWNHAM, R. M. **The development of a stand model for Douglas fir**. 201 p. Thesis, Department of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, 1964.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 9-25, 2001.

OHEIMB, G.; LANG, A. C.; BRUELHEIDE, H.; FORRESTER, D. I.; WÄSCHE, I.; YU, M.; HÄRDTLE, W. Individual-tree radial growth in a subtropical broad-leaved forest: The role of local neighbourhood competition. **Forest Ecology and Management**, v. 26, p. 499-507, 2011.

OLIVEIRA, Y. M. M. **Correlações entre parâmetros dendrométricos em *Araucaria angustifolia*, utilizando fotografias aéreas**. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

O' NEAL, D. D.; HOUSTON, A. E.; BUCKNER, E. R.; MEADOWS, J. S. An index of competition based on relative crown position and size. **Eight biennial southern silvicultural research conference**. Auburn, AL, p. 1-3, 1994.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba, 1997. 316 p.

PUKKALA, T.; KOLSTROM, T. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. **Silva Fennica**, v. 21, n. 1, p. 55-67, 1987.

RADTKE, P. J.; WESTFALL, J. A.; BURKHART, H. E. Conditioning a distance-dependent competition index to indicate the onset of inter-tree competition. **Forest Ecology and Management**, v. 175, p. 17-30, 2003.

RIVAS, J. J. C.; GONZALEZ, J. G. A.; AGUIRRE, O. L.; HERNANDEZ, F. J. The effect of competition on individual tree basal area growth in mature stands of *Pinus cooperi* Blanco in Durango (Mexico). **Eur. J. Forest Res.**, v. 124, p. 133-142, 2005.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2009.

ROTTA, E.; OLIVEIRA, Y. M. M. Área de distribuição natural da Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth). In: IV **SEMINARIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS**, 4., "Bracatinga uma alternativa para reflorestamento". Curitiba, 1981. Anais ... Curitiba, EMBRAPA/URPFCS 1981. p. 1-24.

ROUVINEN, S.; KUULUVAINEN, T. Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest. **Canadian Journal Forest Research**, v. 27, p. 890-902, 1997.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2ª ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal**: Parte I: modelos de regressão linear e não linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento, e peso de matéria seca. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p.

SEITZ, R. Crown development of *Araucaria angustifolia* in its natural environment during sixty years. In: CROWN AND CANOPY STRUCTURE IN RELATION TO PRODUCTIVITY, 1986. **Proceedings...** Ibaraki, Forestry and Forest, Products Research Institute, 1986. p. 129-146.

SILVA, J. A. Estimativa do diâmetro de copa e idade do Pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) em ambiente natural. **Brasil Florestal**, n. 31, p. 24-29, 1977.

SMITH, D. M.; LARSON, B. C.; KELTY, M. J.; ASHTON, P. M. S. **The practice of silviculture: applied forest ecology**. 9. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. 537 p.

STAGE, A. R. **Prognosis model for stand development**. USDA Forest Service: Research Paper INT-137. June, 1973.

TOMÉ, M.; BURKHART, H. E. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual trees. **Forest Science**, v. 35, n. 3, p. 816-831, 1989.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.

TONINI, H. **Índice de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das árvores**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2007. 30 p. (Documentos / Embrapa Roraima; 8).

UMEKI, K. Importance of crown position and morphological plasticity in competitive interaction in a population of *Xanthium canadense*. **Annals of Botany**, v. 75, p. 259-265, 1995.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests** Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.

VETTENRANTA, J. Distance-dependent models for predicting the development of mixed coniferous forests in Finland. **Silva Fennica**, v. 33, n. 1, p. 51-72, 1999.

VOLKART, C. M. Determinacion de la relacion dimetro copa: diametro tronco en *Araucaria angustifolia* y *Pinus elliottii* en la Provincia de Misiones. In: PRIMER CONGRESO FORESTAL ARGENTINO, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: Servicio Nacional Forestal, 1969.

WIMBERLY, M. C.; BARE, B. B. Distance-dependent and distance-independent models of Douglas-fir and western hemlock basal area growth following silvicultural treatment. **Forest Ecology and Management**, v. 89, p. 1-11, 1996.

ZHAO, D.; BORDERS, B.; WILSON, M. Individual-tree diameter growth and mortality models for bottomland mixed-species hardwood stands in the lower Mississippi alluvial valley. **Forest Ecology and Management**, v. 199, p. 307-322, 2004.

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA E DESENVOLVIMENTO DE MODELOS PARA QUANTIFICAÇÃO DO ESTOQUE MADEIREIRO EM PLANTIO SUPERESTOCADO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

RESUMO

Objetivou-se caracterizar um povoamento não manejado de *Araucaria angustifolia* e desenvolver modelos para quantificação do potencial madeireiro, visando subsidiar a elaboração de planos de manejo em povoamentos com condições semelhantes. O trabalho foi desenvolvido em um povoamento estabelecido em 1946, na Floresta Nacional do Açungui, no município de Campo Largo, estado do Paraná, com histórico de apenas um desbaste, entre 1970 e 1980. A partir da frequência dos indivíduos por classe diamétrica, notou-se condição de povoamento estagnado em competição, com coorte no início da distribuição. Com a aplicação da função densidade de probabilidade de Weibull-3P, do modelo de Trorey e do polinômio do 5º grau por classe diamétrica, foi possível estimar o potencial madeireiro do povoamento. Essa análise indicou que o plantio apresenta produção de madeira média anual abaixo do potencial da espécie, sendo recomendável condução de desbaste para favorecimento de árvores remanescentes. Com a função densidade de probabilidade selecionada, Weibull-3P, é possível projetar a distribuição diamétrica do povoamento, quando analisada de forma complementar com informações de crescimento em diâmetro, caso este permaneça não manejado. Certamente, o potencial ótimo de produção madeireira poderia ter se manifestado em situação em que a condução de manejo ocorresse durante todo o ciclo previsto.

Palavras-chave: Manejo florestal, Floresta Nacional, distribuição diamétrica.

CHAPTER II

CHARACTERIZATION OF STRUCTURE AND DEVELOPMENT OF MODELS TO QUANTIFY WOOD STOCK OF AN UNMANAGED *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. STAND

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize an unmanaged stand of *Araucaria angustifolia* and to test models to quantify the wood potential, aiming to support the development of forest management plans in stands with similar conditions. The work was developed in a stand established in 1946, in National Forest of Açungui, in the municipality of Campo Largo, Paraná State, Brazil. Only one thinning was applied in the stand, between 1970 and 1980. From the frequency of individuals in each diameter class, it was observed the condition of stagnation and competition with cohort in the first class of the distribution. With the application of the probability density function of Weibull-3P, Trorey model, and the 5th polynomial by diameter class, it was possible to estimate the volume of timber stock of the stand. This analysis indicated that the stand presents average annual wood production smaller than the species potential. So it is recommended the thinning to promote growth of remnant trees. With the Weibull-3P probability density function, it is possible to project the diameter distribution of the stand, when analyzed complementarily with growth diameter information, if the stand remains unmanaged. Certainly, the optimum potential of timber production could have been manifested if the stand were managed during the planned cycle.

Keywords: Forest Management, National Forest, diameter distribution.

1 INTRODUÇÃO

Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. tem indiscutível importância econômica e ecológica para os estados de ocorrência natural. Apesar de o manejo e uso dessa espécie estar sendo tratada pelo poder público com restrições, quando na forma nativa, sua madeira de alta qualidade, aliada à forma cilíndrica do fuste, apresenta características para que a árvore seja utilizada para fins muito nobres. Em consequência disso, o desenvolvimento e aplicação de modelos para estimativas úteis ao planejamento e uso sustentável desses recursos são etapas importantes para o manejo sustentável.

É prática comum o ajuste de equações para estimativa de volume de madeira, em plantios florestais, pois possui o mérito de apresentar poucas variáveis, fáceis de serem medidas e sendo bem correlacionadas com o volume (LOETSCH *et al.*, 1973). Dentre as técnicas de modelagem, que são ferramentas valiosas para o planejamento dos possíveis produtos da área sob manejo, possibilitando prever multiprodutos, destacam-se também os modelos de afilamento (DEMAERSCHALK, 1972) e a previsão de distribuição de diâmetros no povoamento (RENNOLLS *et al.*, 1985).

Em florestas equiâneas a distribuição dos diâmetros geralmente apresenta tendência à unimodalidade, de forma que as maiores frequências concentram-se nos valores médios e as menores nos valores extremos (PRODAN, 1968). De acordo com Anuchin (1970), em povoamentos homogêneos os quocientes e fatores de forma variam da mesma maneira que os diâmetros e alturas, de modo que essas variações são menores dentro das classes diamétricas isoladas e podem ser caracterizadas por valores médios de quocientes e fatores de forma, que decrescem gradualmente da classe mais baixa para a mais alta. A distribuição das árvores, de acordo com os fatores de forma para cada classe de diâmetro separadamente e para o total do povoamento, pode ser descrita por curvas de distribuição, facilitando o estabelecimento de valores médios para caracterizar os volumes de árvores.

No entanto, em povoamentos com idade avançada, principalmente quando não manejados adequadamente, o comportamento pode não seguir esse padrão. Isso porque, de acordo com Kramer e Koslowski (1960), em povoamentos florestais de alta densidade, as árvores estão em constante competição pelo espaço aéreo e pelo espaço no solo e algumas superarão os indivíduos menos vigorosos. Nestes casos,

observa-se grande amplitude de diâmetros no povoamento, em virtude da competição, que impede o desenvolvimento potencial de todas as árvores de forma semelhante.

Dentro desse contexto, a análise da distribuição diamétrica permite estimar o número de árvores por hectare para cada classe de diâmetro, de modo a viabilizar a obtenção de informações mais detalhadas sobre a estrutura do povoamento (CLUTTER *et al.*, 1983).

Assim, os modelos por classe diamétrica permitem analisar toda a estrutura do povoamento, bem como, a avaliação econômica de produtos discriminados em classe de tamanho, possibilitando a avaliação de novas opções para o uso dos produtos da floresta.

Apesar de muito difundidas e aplicadas no manejo de plantios florestais, o ajuste de funções probabilísticas para distribuições diamétricas de *Araucaria angustifolia* (MACHADO *et al.*, 2000; 2009; 2010), bem como de relações hipsométricas (CALDEIRA *et al.*, 2003; MACHADO *et al.*, 2008; FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2010), e modelos de volume (MACHADO *et al.*, 2000; MATTOS *et al.*, 2010; SANQUETTA *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2011), mesmo que para uma mesma espécie, é um fator importante para conduzir povoamentos, uma vez que locais diferentes, geralmente o material genético, espaçamento inicial e idade são diferentes (GORGENS *et al.*, 2009).

No estado do Paraná, os primeiros plantios de *Araucaria angustifolia* tiveram início com as atividades do Instituto Nacional do Pinho, em torno de 1945 (DIETRICH, 1979), sendo que muitas dessas áreas são hoje Florestas Nacionais. Muitos desses plantios deixaram de ser manejados há mais de 30 anos, apresentando atualmente crescimento estagnado. Ainda assim, plantios não manejados podem apresentar informações valiosas para o embasamento de planos de manejo, visando o uso dos recursos de forma sustentável, como em estudos conduzidos por Silver *et al.* (2013) e Peltoniemi e Mäkipää (2011).

Nesse contexto, objetivou-se caracterizar um povoamento superestocado de *Araucaria angustifolia* e desenvolver modelos para quantificação do estoque madeireiro, visando subsidiar a elaboração de planos de manejo em povoamentos com condições semelhantes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS

O trabalho foi desenvolvido em uma área de plantio de aproximadamente 131 hectares de *Araucaria angustifolia*, estabelecido em 1946, na Floresta Nacional de Açungui, localizada no município de Campo Largo, PR, com registro de apenas um desbaste realizado no período entre 1970 a 1980. Assim, visto que a última intervenção que o plantio sofreu data de mais de 30 anos, atualmente o povoamento encontra-se superestocado, com dossel homogêneo.

Foram selecionadas 46 árvores distribuídas em seis classes de diâmetro, com intervalo de classes de 10 cm, variando de 10 a 70 cm. Foram estabelecidas parcelas circulares ao redor de cada árvore selecionada, adaptando o método de Prodan (“Seis Árvores”), uma vez que o número de árvores medidas variou para cada parcela sendo medido o dap (diâmetro a 1,30 m de altura do solo) dessas, e de todas as árvores cujas copas estavam em contato com a copa da árvore no centro da parcela. Quando não havia contato entre copas, porém a árvore estava dentro do raio definido para cada parcela, e apresentava dap maior ou igual a 10 cm, estas também eram incluídas como componentes da densidade. Um total de 329 árvores foram medidas, correspondendo em média a 280,3 árvores.ha⁻¹, calculados pelo método de Prodan adaptado (Capítulo I).

As 46 árvores de *Araucaria angustifolia* definidas como centro das parcelas foram derrubadas e cubadas (SISBIO 35355-1). As árvores amostradas foram divididas em seções, a partir da altura de 0,1 m; 0,5 m; 1,0 m e 1,30 m e posteriores medidas a cada 10% até atingir 100% da altura comercial, totalizando 14 medições por árvore. Além da altura comercial, foram medidas a altura do fuste e total, sendo consideradas a distância do solo até o primeiro galho, a distância do solo até o ponto de inserção da copa, e a distância do solo até a ponta do galho mais alto, respectivamente. O volume comercial e volume do fuste com casca de cada árvore foi determinado pelo método de Smalian, somando-se os volumes parciais de cada seção.

2.2 DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DIAMÉTRICA E AJUSTE DE FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE

Após a obtenção dos dados para todas as árvores das 46 parcelas medidas, foi realizada a distribuição de frequência diamétrica do povoamento, sendo as árvores distribuídas em 12 classes diamétricas, com amplitude de 5 cm, variando de 10 a 70 cm.

Os dados obtidos também foram utilizados para o ajuste de funções densidade de probabilidade (*fdp*) propostas (TABELA 2.1), de modo a permitir a estimação das frequências por classe de diâmetro.

TABELA 2.1 - FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE E SUAS CONDICIONANTES

Nome	Função densidade de probabilidade	Restrições
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{1}{2}\right)\left[\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right]^2}$	$\sigma > 0;$ $-\infty < x < +\infty;$ $-\infty < \mu < +\infty;$
Log-Normal	$f(x) = \frac{e^{\left(-\frac{1}{2}\right)\left[\frac{(\ln x - \mu)}{\sigma}\right]^2}}{x\sigma\sqrt{2\pi}}$	$x \geq x_{min}; \sigma > 0;$ $-\infty < x < +\infty;$ $-\infty < \mu < +\infty;$
Gama	$f(x) = \frac{(x - x_{min})^{\alpha-1} e^{-\frac{(x-x_{min})}{\beta}}}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}$	$x \geq x_{min};$ $\alpha, \beta > 0;$ $-\infty < x_{min} < +\infty;$
Beta	$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \frac{1}{(x_{max} - x_{min})^{\alpha+\beta-1}} (x - x_{min})^{\alpha-1} (x_{max} - x)^{\beta-1}$	$x_{min} < x < x_{max};$ $\alpha, \beta > 0;$ $-\infty < x_{min} < x_{max} < +\infty$
Weibull-3P	$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c}$	$x \geq x_{min};$ $-\infty < x_{min} < +\infty;$ $b, c > 0; a \geq 0$
Sb de Jonhson	$f(x) = \frac{\delta}{\sqrt{2\pi}} \frac{\lambda}{(x - \varepsilon)(\lambda + \varepsilon - x)} e^{-\frac{1}{2\lambda} \left[\gamma + \delta \ln \left(\frac{x - \varepsilon}{\lambda + \varepsilon - x} \right) \right]^2}$	$\varepsilon < x < +\lambda;$ $-\infty < \gamma < +\infty;$ $\lambda > 0; \delta > 0$
Weber	$f(x) = \frac{x^a}{(b + cx)^d}$	$0 \leq x < +\infty;$ $d \geq a + 1;$ $d \neq a + 2;$ $d \neq a + 3;$ $a, b, c, d > 0$

Em que: $f(x)$ = função densidade da variável x ; x = variável aleatória; x_{min} ; x_{max} = valores mínimos e máximos da variável aleatória; e = exponencial; σ^2 = variância; σ = desvio-padrão; μ =média; Γ = função gama; α e β = parâmetros a serem estimados; a = parâmetro de locação; b = parâmetro de escala; c = parâmetro de forma; ε = parâmetro de locação; λ = parâmetro de escala; δ e γ = determinam a forma da distribuição. Quando δ aumenta implica em grande aumento na forma. Já aumentos no valor absoluto de γ implica em mais assimetria, ou seja, δ é o parâmetro curtose e γ é o parâmetro que expressa a assimetria.

FONTE: Machado *et al.* (2009) adaptado pelo autor (2015)

As *fdp's* de Weibull-3P e Weber tiveram as estimativas obtidas pelo processo iterativo do solver do Microsoft Excel®, utilizando a minimização dos quadrados dos resíduos. Para estimar os parâmetros das *fdp's* Normal, Log-Normal, Gama e Beta foi utilizado o método dos momentos e para os parâmetros da *fdp* de Sb de Johnson foi utilizado o método da máxima verossimilhança. As estimativas dos parâmetros das *fdp's* que dependiam das estimativas das funções Gama, foram obtidas conforme metodologia para aproximação dessa função proposta por Assis *et al.* (1996).

Após ajustar as funções, verificou-se a qualidade do ajuste obtido para cada função pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, o qual foi utilizado para testar as hipóteses de H_0 e H_1 a 95% de probabilidade do teste bilateral, sendo que: H_0 = os diâmetros observados seguem as distribuições propostas; e H_1 = os diâmetros observados não seguem as distribuições propostas. Foram também traçadas as curvas das frequências estimadas e frequências observadas, por classe de diâmetro, para as *fdp's* testadas.

2.3 MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, VOLUME E AFILAMENTO

Para o ajuste de relações hipsométricas foram testados dez modelos ajustados para altura do fuste e comercial das 46 árvores derrubadas, em função do diâmetro a 1,30 m de altura do solo (dap). Para a estimativa de volume foram testados onze modelos volumétricos, sendo quatro de simples entrada e sete de dupla entrada, e três modelos de afilamento polinomiais não segmentados (TABELA 2.2). Os ajustes para a variável volume foram realizados para o conjunto total dos dados (46 árvores) e dividindo-o em classes.

TABELA 2.2 - MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA, MODELOS DE VOLUME E DE AFILAMENTO

Autores	Modelos hipsométricos
Linear simples	$h = \beta_0 + \beta_1 d + \varepsilon$
Trorey	$h = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$
Assmann	$h = \beta_0 + \beta_1 / d + \varepsilon$
Henricksen	$h = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon$
Stoffels	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon$
Curtis	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 / d + \varepsilon$
Petterson	$h = [1/(\beta_0 + \beta_1 / d)]^3 + 1,3 + \varepsilon$
Naslund (1)	$h = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2} + \varepsilon$
Naslund (2)	$h = \left(\frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 d^2} + 1,30 \right) + \varepsilon$
Naslund (3)	$h = \left(\frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2} + 1,30 \right) + \varepsilon$
Autores	Modelos volumétricos
Kopezky-Gehrhardt	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \varepsilon$
Hohenadl e Krenn	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$
Husch	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \varepsilon$
Brenac	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \beta_2 \cdot (1/d) + \varepsilon$
Spurr sem β_0	$v = \beta_1 \cdot (d^2 h) + \varepsilon$
Spurr-Variável combinada	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot (d^2 h) + \varepsilon$
Stoate	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot h + \beta_2 \cdot d^2 + \beta_3 \cdot (d^2 h) + \varepsilon$
Naslund	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d^2 + \beta_2 \cdot (d^2 h) + \beta_3 \cdot (dh^2) + \beta_4 h^2 + \varepsilon$
Meyer	$v = \beta_0 + \beta_1 \cdot d + \beta_2 \cdot h + \beta_3 \cdot d^2 + \beta_4 (d^2 h) + \beta_5 (dh) + \varepsilon$
Schumacher e Hall	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d) + \beta_2 \cdot \ln(h) + \varepsilon$
Spurr	$\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(d^2 h) + \varepsilon$
Autores	Modelos de afilamento
Kozak <i>et al.</i> (1969)	$\frac{d_i}{d} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h} \right) + \left(\frac{h_i}{h} \right)^2 + \varepsilon$
Polinômio do 5º grau (Schöpfer, 1966)	$\frac{d_i}{d} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h} \right)^2 + \left(\frac{h_i}{h} \right)^3 + \left(\frac{h_i}{h} \right)^4 + \left(\frac{h_i}{h} \right)^5 + \varepsilon$
Polinômio das potências inteiras e fracionárias (Hradetzky, 1976)	$\frac{d_i}{d} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h} \right)^{p1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h} \right)^{p2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{h} \right)^{pn} + \varepsilon$

Em que: v = volume estimado (m^3); d_i = diâmetro correspondente a qualquer altura h_i , especificada (cm); d = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm); h = altura total (comercial ou do fuste) (m); \ln = logaritmo neperiano;; h_i = altura correspondente ao diâmetro d_i (m); β_i = parâmetros do modelo ajustado ($i=0, 1, 2...n$); p = potências testadas; e ε = erro de estimativa.

FONTE: Schneider e Schneider (2008) adaptado pelo autor (2015)

Uma vez que cada classe de diâmetro possui oito árvores representativas, exceto a maior classe que possui seis, as estimativas da altura e volume tomando-se as classes com amplitude de 10 cm estariam representadas por poucas amostras, comprometendo o ajuste dos modelos. Assim, optou-se para o ajuste dos modelos, agrupar as classes da seguinte forma: de 10 a 30 cm (classe 1) com 16 árvores; de 30 a 50 cm (classe 2) com 16 árvores; e de 50 a 70 cm (classe 3) com 14 árvores.

Os modelos volumétricos e os de afilamento de Kozak *et al.* (1969) e Polinômio do 5º grau foram ajustados no software Excel versão 2010. O Polinômio de Potências Inteiras e Fracionárias foi construído pelo procedimento de seleção *Stepwise*, com a utilização de potências inteiras da ordem de dezenas para representar a base da árvore, em conjunto com potências fracionárias para representar a porção superior do fuste, conforme sugerido por Hradetzky (1976). Os expoentes utilizados no processo de construção do modelo variaram entre 0,005 e 25. Foi realizada a integração de cada modelo de afilamento para a obtenção dos volumes do fuste e volume comercial (HUSCH *et al.*, 1982).

Para todos os modelos de afilamento testados, tanto para a estimativa dos di's (diâmetro correspondente a qualquer altura), como para a estimativa dos volumes do fuste, volume comercial, e volume considerando cada seção da cubagem, ou seja, ao longo do tronco, o cálculo dos parâmetros estatísticos e suas análises de resíduos foram realizados em planilha eletrônica.

Foram verificadas as significâncias dos coeficientes de regressão pelo teste *t*. Os ajustes foram avaliados quanto à acuracidade e precisão, usando-se o coeficiente de determinação ajustado (R_{ajust}^2), erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}\%$), recalculados para modelos logaritmizados e análise gráfica de resíduos.

Para modelos logaritmizados, efetuou-se a correção da discrepância logarítmica, multiplicando-se o valor estimado de cada árvore pelo fator de correção de Meyer, para então recalcular as estatísticas.

Para seleção do modelo mais apropriado utilizaram-se, também, as estatísticas complementares (TABELA 2.3) Viés (V), Média das Diferenças Absolutas (MD) e Desvio Padrão das Diferenças (DPD), que possibilitam uma análise mais detalhada sobre o desempenho das estimativas.

TABELA 2.3 - ESTATÍSTICAS USADAS PARA AVALIAÇÃO DAS ESTIMATIVAS PARCIAIS DE DIÂMETRO E VOLUMES

Estatística	Estimador
Viés (V)	$V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n}$
Média das diferenças absolutas (MD)	$MD = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \hat{Y}_i }{n}$
Desvio padrão das diferenças (DPD)	$DPD = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n d_i \right)^2 / n}{n-1} \right)}$

Em que: Y_i = valor observado e \hat{Y}_i = valor estimado; n = número de observações; e $d_i = (Y_i - \hat{Y}_i)$.

FONTE: Figueiredo Filho *et al.* (1996) adaptado pelo autor (2015)

Com as estatísticas Viés (V), Média das Diferenças absolutas (MD) e Desvio Padrão das Diferenças (DPD) procedeu-se à ordenação dos modelos, sendo estabelecidas notas, em que a menor nota foi dada ao melhor modelo para cada estatística avaliada. Foi considerado como o modelo mais adequado aquele que resultou em menor somatório nas notas (classificação), conforme utilizado por Figueiredo Filho *et al.* (1996), observando-se também as estatísticas R_{ajust}^2 , $S_{yx}\%$ e análise gráfica de resíduos. Essa classificação foi feita para cada classe diamétrica e também para o conjunto total das árvores. No caso de mesmo valor em qualquer das estatísticas para diferentes equações, essas receberam a mesma nota. As notas não serão apresentadas uma vez que foram atribuídas apenas para facilitar a seleção do melhor modelo.

Para avaliar a necessidade de estratificar os dados em classes de diâmetro, foi realizado o teste de identidade de modelos de regressão linear, desenvolvido por Graybill (1976) e descrito por Regazzi (1996) (TABELA 2.4). Comparou-se apenas o agrupamento total e a divisão em 3 classes, sem variar todas as possíveis combinações.

TABELA 2.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS LINEARES

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F
Modelo Completo	(hp)	$SQ_{\text{reg-completo}} = SQ_1 + SQ_2 + \dots$		
Modelo Reduzido	p	$SQ_{\text{reg-reduzido}}$		
Diferença para testar hipótese	(h-1)p	$SQ_{\text{reg-completo}} - SQ_{\text{reg-reduzido}}$	$SQ_{\text{diferença}} / (h-1)p$	$QM_{\text{diferença}} / QM_{\text{resíduo}}$
Resíduo	n-(hp)	$SQ_{\text{total}} - SQ_{\text{reg-completo}}$	$SQ_{\text{resíduo}} / (n-hp)$	
Total	n	$SQ_{\text{(total)}}$		

Em que: GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; SQ_{reg} = soma de quadrados da regressão; QM = quadrado médio; h = número de tratamentos agrupados; p = número de parâmetros do modelo; n = número de observações do modelo completo.

FONTE: Regazzi (1996), adaptado pelo autor (2015)

Conforme Regazzi (1996), a hipótese formulada para a identidade entre modelos é dada por $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_N$ (os modelos completos são idênticos ao modelo reduzido); e $H_1: \beta_i \neq \beta_j$ (nem todos os modelos completos são idênticos ao reduzido). Se $F_{\text{calculado}} \geq F_{\text{tabelado}}$, então se rejeita H_0 (significativo), ou seja, impossível o uso de modelo único com parâmetros comuns. E se $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$, se aceita H_0 (não significativo), ou seja, os modelos são iguais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O povoamento apresentou dap médio de 37,0 cm \pm 11,0 cm, mediana de 37,9 cm e moda de 39,2 cm. Após avaliação dos dados de diâmetro do povoamento, foi possível verificar a existência de alta frequência de árvores de diâmetros reduzidos, entre 10 e 15 cm, quando comparada a frequência das duas próximas classes, entre 15 e 25 cm. Visando mostrar o comportamento deste grupo de árvores, optou-se por demonstrar a distribuição dos diâmetros do povoamento reduzindo a amplitude de classe para 5 cm, sendo distribuídas em 12 classes diamétricas, variando de 10 a 70 cm (FIGURA 2.1).

Os valores de curtose (0,458) e assimetria (-0,189) indicam uma distribuição do tipo platicúrtica com assimetria negativa. Segundo Machado *et al.* (2006), com o aumento do diâmetro e a redução do número de árvores por hectare, as curvas de distribuição diamétrica tendem a se deslocar para a direita e se tornarem mais achatadas à medida que o povoamento se torna mais velho, com ligeira influência do sítio. Essas características foram confirmadas em estudos de Nogueira *et al.* (2006) em povoamento de *Tectona grandis* L. f. no Mato Grosso e Téó *et al.* (2011) em povoamento de *Pinus taeda* L., em Santa Catarina, entre outros.

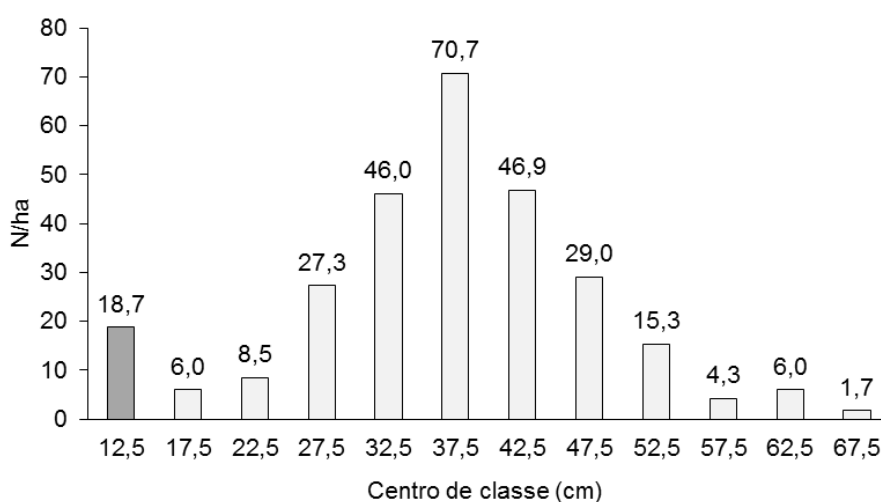


FIGURA 2.1 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS EM CLASSES DIAMÉTRICAS PARA *Araucaria angustifolia*

FONTE: O autor (2015)

Apesar de o povoamento apresentar assimetria moderada negativa, há indícios de que se encontra estagnado, uma vez que se observa maior número de árvores nas classes diamétricas abaixo do diâmetro médio, considerado baixo para um povoamento com idade superior a 65 anos. Configuração semelhante foi observada por Machado *et al.* (2009) para *Araucaria angustifolia*, provenientes de censo realizado em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista de 15,24 ha, localizado no estado do Paraná, e por Zanon *et al.* (2009) em avaliação de um plantio de 60 anos de *Araucaria angustifolia*, que sofreu 4 desbastes, localizado na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, estado do Rio Grande do Sul, porém não apresentaram frequência maior na primeira classe de diâmetro, antes de iniciar ascensão da curva até atingir o centro de classe de diâmetro médio.

Muitos autores enfatizam a necessidade de ocorrência de algum distúrbio para que *Araucaria angustifolia* regenere naturalmente (SOARES, 1979; SOUZA *et al.*, 2008; ORELLANA, 2014). A ocorrência de distúrbio, de forma a favorecer a incidência de luz no sub-bosque da floresta, pode ser seguida imediatamente por uma fase de plântulas, caracterizando uma coorte, como relatado por Ogden (1985) e Claessens *et al.* (2006).

O conceito de coorte é utilizado para designar um conjunto de indivíduos que foi submetido ao mesmo evento, e que são observados durante um mesmo período de tempo (RYDER, 1965). A presença de coortes, em estudos de povoamentos florestais após distúrbio, foi relatada para diferentes espécies, como em *Agathis australis* (D. Don) Loudon (OGDEN, 1985; CLAESSENS *et al.*, 2006), *Swietenia macrophylla* King (GULLISON *et al.*, 1996), *Pinus ponderosa* Dougl. (O'HARA, 1996), dentre outros.

Sabe-se que a área em estudo apresenta histórico de exploração madeireira, com desbastes registrados entre as décadas de 1970 e 1980, não se tendo, entretanto, controle das intensidades, localização e de como foram realizados. Dessa forma, a intensidade com que a exploração interferiu na distribuição dos indivíduos desse povoamento se torna de difícil mensuração, devido à amplitude de tempo e falta de dados para formalizar uma conclusão. O que se pode afirmar, é que o povoamento encontra-se estagnado, em autocompetição, uma vez que é observado um grande número de árvores de pequenas dimensões para um povoamento com a idade em que se encontra.

Portanto, a ocorrência de coorte na primeira classe de diâmetro (centro de classe de 12,5 cm) provavelmente é decorrente da abertura de clareiras resultantes do desbaste ocorrido entre as décadas de 1970 e 1980. Pode-se questionar que após 35 a 45 anos, as árvores oriundas da regeneração poderiam estar atingindo dimensões maiores. No entanto, a taxa de crescimento em diâmetro é determinada pelo espaço de crescimento de que a árvore dispõe, sendo o espaço de cada árvore limitado pelas árvores vizinhas, levando a competição ao nível das copas e das raízes (HILEY, 1959), que causa a diminuição do crescimento ou até mesmo a eliminação de indivíduos no povoamento (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008). Além disso, as árvores ingressantes começam a vida em desvantagem competitiva e são propensas a serem dominadas pela concorrência antes da coorte atingir a maturidade (OGDEN, 1985). Assim, mesmo após o distúrbio ocasionado no passado, como o povoamento se encontra estagnado devido à falta de manejo, não houve espaço vital suficiente para o desenvolvimento dos novos indivíduos, dificultando o desenvolvimento diamétrico.

De acordo com Claessens *et al.* (2006), após atingir a senescência, há uma redução de densidade de indivíduos, e as árvores que tendem a permanecer são as de grande porte, apesar disso, novas coortes podem se estabelecer, até que um novo evento de perturbação comece o ciclo novamente, uma vez que os distúrbios exógenos em larga escala podem causar um retorno à fase inicial da coorte. Porém, segundo Paludo *et al.* (2009), como *Araucaria angustifolia* é uma espécie longaeva, mesmo que seja observada a regeneração natural sob a floresta, ela pode manter baixo número de indivíduos regenerantes na população.

A distribuição observada no presente estudo, no entanto, apresenta coorte no início da distribuição e a partir daí apresenta-se unimodal. Segundo Prodan (1968), numa representação gráfica essa distribuição se apresenta de forma que as maiores frequências concentram-se nos valores médios e as menores nos valores extremos, sendo característica de plantios homogêneos em espécie e idade, mesmo que tenha atingido um limite superior da capacidade de crescimento fisiológico, como é o caso do povoamento em estudo.

Segundo Scolforo (1998) curvas com características multimodais de distribuição não são biologicamente importantes, pois normalmente são distribuições forçadas. O povoamento em questão após a primeira classe apresentou-se com

característica unimodal, representando provavelmente os indivíduos originais da implantação do povoamento.

3.1 FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE AJUSTADAS

Para todas as funções testadas, os valores calculados do teste de Kolmogorov-Smirnov indicam a aceitação da hipótese de nulidade quando menores que o tabelado, significando que as frequências esperadas e observadas são similares sob do ponto de vista estatístico, ou seja, os modelos aderiram bem o conjunto de dados (TABELA 2.5).

TABELA 2.5 - TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV PARA AS FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE TESTADAS, E SEUS RESPECTIVOS PARÂMETROS AJUSTADOS

<i>fdp</i>	Parâmetros		D cal
Weibull-3P	a	-25,14907	0,0522 ^{ns}
	b	65,1365	
	c	7,7224	
Normal	μ	37,7874	0,0631 ^{ns}
	σ	8,8277	
Log-normal	μ	3,6544	0,0669 ^{ns}
	σ^2	0,2296	
Gama	α	19,4022	0,0668 ^{ns}
	β	2,0127	
Beta	α	6,2384	0,0664 ^{ns}
	β	6,1115	
Sb Johnson	ε	27,3219	0,0618 ^{ns}
	λ	3047,2219	
	δ	-2744,2659	
	γ	-64,2085	
Weber	a	24,1699	0,0669 ^{ns}
	b	1,2436	
	c	0,0029	
	d	299,0112	

Em que: ^{ns} não significativo pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 95% de probabilidade (D_{tab} = 0,075)

FONTE: O autor (2015)

A função Weibull-3P foi a que apresentou menor valor de $D_{\text{calculado}}$, mostrando menor diferença entre o valor observado e o estimado para o ponto de máxima divergência. Com a representação das curvas de distribuição diamétrica estimadas em relação ao histograma de frequências observadas acumuladas e absolutas, foi possível verificar o melhor ajuste com a função de Weibull-3P, apresentando melhor aderência às frequências observadas (FIGURA 2.2).

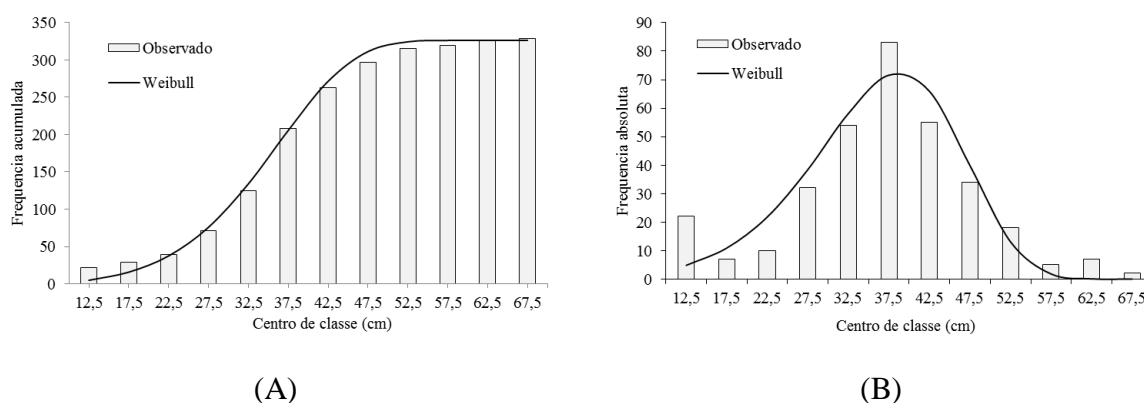


FIGURA 2.2 - CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA ESTIMADAS SOBRE O HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIAS OBSERVADAS ACUMULADAS (A) E FREQUÊNCIAS OBSERVADAS ABSOLUTAS (B)
FONTE: O autor (2015)

De acordo com Campos e Leite (2009), as funções densidade de probabilidade mais utilizadas em modelos de distribuição diamétrica são as funções Weibull, Sb de Johnson, Gama e Beta, das quais destaca-se a função Weibull. Seu favoritismo se dá por sua relativa simplicidade e flexibilidade em representar tendências (BAILEY; DELL, 1973).

Outros autores obtiveram êxito ao utilizar a função de Weibull podendo-se citar, Machado *et al.* (1998) para *Araucaria angustifolia*, Arce (2004) para plantio de *Populus deltoides* Marsh, Eisfeld *et al.* (2005) para *Pinus taeda* L., Leite *et al.* (2006) e Nogueira *et al.* (2006) em povoamentos de *Tectona grandis* L. f. submetidos a desbaste.

O ajuste dessas funções é uma ferramenta para quantificação futura da distribuição diamétrica, quando analisada em conjunto com informações de crescimento em diâmetro, possibilitando prognoses caso o povoamento continue com as características atuais de competição e não sofra intervenções silviculturais no período de avaliação. Assim, o emprego de funções densidade de probabilidade para estimar as frequências esperadas em cada classe de diâmetro e estimar o número de

árvores por hectare por classe de diâmetro nas idades presente e futura é a principal característica dos modelos de distribuição diamétrica utilizados no meio florestal (CAMPOS; LEITE, 2009; SCOLFORO, 2006). E, embora impliquem em uma simplificação da realidade, permitem obter um diagnóstico da distribuição diamétrica das árvores que compõem a floresta (PULZ *et al.*, 1999).

3.2 AJUSTE E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE MODELOS DE RELAÇÃO HIPSONÔMICA

Araucaria angustifolia apresenta várias formas de copa conforme sua idade, e a quantidade de luz disponível nos diferentes estratos da floresta, ou seja, a concorrência entre as árvores altera a porcentagem de copa viva em relação à altura total (SEITZ, 1986). Portanto, povoamentos com alta competição podem ocasionar muita variabilidade com o avanço da idade. Como o povoamento em estudo encontra-se em alta competição, não foi observado um padrão para as proporções de copa viva, e conseqüentemente para a altura total. Por esse motivo, optou-se por utilizar a altura do fuste para o ajuste das funções hipsométricas.

As estimativas dos parâmetros para os modelos hipsométricos foram significativas a 95% de probabilidade pelo teste *t* para a maioria dos modelos testados (TABELA 2.2), exceto para o modelo de Naslund (3), para a altura do fuste e para os modelos de Naslund (1 e 3) para o ajuste da altura comercial.

A partir da análise estatística dos modelos com parâmetros significativos, tanto para a altura comercial como do fuste, obteve-se valores para o erro entre 9,85% e 13,76%. Estudos semelhantes com *Araucaria angustifolia* foram realizados por Caldeira *et al.* (2003) e Machado *et al.* (2008), sendo relatados erros semelhantes ou superiores ao obtido nesse trabalho.

Com base na classificação das estatísticas V, MD e DPD, bem como com base no menor $S_{yx}\%$ e maior R_{ajust}^2 (TABELA 2.6), e distribuição dos resíduos (FIGURA 2.3), o melhor modelo para o ajuste de altura do fuste e comercial para o presente trabalho, foi o de Trorey.

TABELA 2.6 - EQUAÇÕES SELECIONADAS E ESTATÍSTICAS PARA ESTIMAR A ALTURA DO FUSTE E COMERCIAL

	Equação	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$	V	MD	DPD
Altura do fuste	$h = 6,8635 + 0,5098 d - 0,0036 d^2$	0,8010	9,85	1,31E-15	1,5577	2,0136
Altura comercial	$h = 6,5350 + 0,4093 d - 0,0032 d^2$	0,6561	12,39	4,09E-15	1,5995	2,0977

FONTE: O autor (2015)

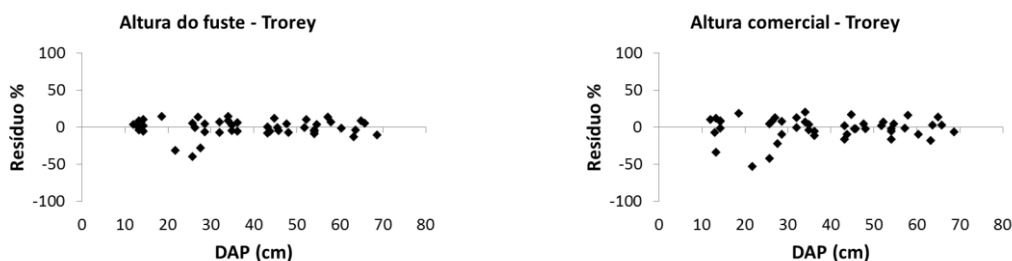


FIGURA 2.3 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA ESTIMATIVA DA ALTURA DO FUSTE E COMERCIAL PARA O MODELO DE RELAÇÃO HIPSSOMÉTRICA DE TROREY

FONTE: O autor (2015)

Avaliando o ajuste de modelos de relação hipsométrica em plantios de *Araucaria angustifolia* na Floresta Nacional de Irati, com idade semelhante ao povoamento em estudo, Figueiredo Filho *et al.* (2010) observaram o melhor desempenho para o modelo de Curtis, com coeficiente de determinação ajustado igual a 0,87. No entanto o erro foi de 16%, superior ao do presente trabalho. Apesar da idade semelhante, as diferenças na precisão dos ajustes podem ser decorrentes de outras causas, como diferenças de sítio, espaçamento inicial, desbastes no povoamento, variabilidade genética, dentre outras.

Não somente para o modelo de melhor desempenho selecionado, como também para os demais, houve superioridade na estimativa da altura do fuste em relação à altura comercial. O povoamento em estudo encontra-se em intensa competição, de forma a não exibir um padrão para o comprimento das copas vivas (SEITZ, 1986), sendo o ajuste da altura comercial mais susceptível a erros. Por outro lado, a altura do fuste, considerada como a distância vertical ao longo do eixo da árvore definida entre a superfície do solo e a base da copa (LOETSCH *et al.*, 1973), é bem evidente na *Araucaria angustifolia*.

De acordo com Machado *et al.* (2008), a relação hipsométrica para a variável altura do fuste é determinada da mesma forma que para a altura total, apesar da altura de fuste não ser uma variável determinada pela biologia da espécie como a altura total, uma vez que um indivíduo que cresce de forma isolada terá uma altura de fuste

menor que um indivíduo que vive associado a outros em uma floresta ou povoamento. Assim, se a relação hipsométrica para altura total (ht) é afetada pela espécie, posição sociológica, idade, tamanho de copa, densidade, sítio e práticas silviculturais em geral, o mesmo acontece com a altura de fuste sobre diâmetro (hf/d).

3.3 AJUSTE E AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE MODELOS VOLUMÉTRICOS E DE AFILAMENTO

Em modelos de regressão, cada parâmetro associado a variáveis independentes ($\beta_1 \dots \beta_n$), representam a inclinação da variável dependente (Y) em relação à variável independente (X) a ele relacionada, já o parâmetro β_0 representa o valor médio de Y quando as variáveis independentes (Xis) são iguais a zero, sendo a interseção de Y. Assim, o parâmetro β_0 não está diretamente associado a nenhum valor de X (LEVINE *et al.*, 2000). Portanto, quando o parâmetro β_0 é não significativo não prejudica a estimativa da variável. Os valores significativos dos demais parâmetros refletem a importância de cada variável independente no processo de estimação das variáveis dependentes.

As equações referentes aos modelos de Hohenadl e Krenn, Brenac, Stoate, Naslund (1), Meyer e Spurr resultaram em pelo menos um dos parâmetros associados às variáveis independentes não significativo. Para o volume do fuste além dos modelos já citados, Spurr-Variável combinada também apresentou parâmetros não significativos.

Os demais modelos volumétricos, quando apresentaram algum p-valor superior ao valor crítico ($\alpha \leq 0,05$), foram apenas para o parâmetro β_0 . Portanto, para escolher o melhor modelo para estimativa do volume comercial, procedeu-se à análise estatística apenas para os modelos Kopezky-Gehrhardt, Husch, Spurr sem β_0 , Spurr-Variável combinada e Schumacher e Hall, e para o volume do fuste, todos esses citados, exceto o modelo de Spurr-Variável combinada. Para as equações de afilamento, todos os parâmetros apresentaram p-valores inferiores ao valor crítico ($\alpha \leq 0,05$).

O modelo volumétrico de Schumacher e Hall foi o melhor para estimar volume comercial e volume do fuste, tanto para o ajuste geral como em cada classe. Já para

os modelos de afilamento, o polinômio de potências inteiras e fracionárias estimou melhor o diâmetro ao longo do tronco e o volume comercial; o polinômio de 5º grau estimou melhor o volume ao longo do fuste e o volume total do fuste. Os parâmetros para os modelos selecionados encontram-se na TABELA 2.7, e as estatísticas e análises gráficas de resíduos encontram-se na TABELA 2.8 e FIGURA 2.4, respectivamente. A seleção do melhor modelo também foi realizada com base na distribuição gráfica de resíduos, que se apresentaram sem tendenciosidade para todos os modelos selecionados.

TABELA 2.7 - VALORES DAS ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DE CADA EQUAÇÃO SELECIONADA, PARA OS DADOS POR CLASSE DE DIÂMETRO E GERAL

Modelo		$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$
Schumacher e Hall para volume comercial	Geral	-9,4957*	2,0527*	0,8153*			
	Classe 1	-9,4964*	2,0376*	0,8285*			
	Classe 2	-9,1248*	1,9693*	0,8011*			
	Classe 3	-8,3009*	1,9799*	0,5075*			
Schumacher e Hall para volume do fuste	Geral	-9,7450*	1,9690*	0,9692*			
	Classe 1	-9,9670*	1,9589*	1,0590*			
	Classe 2	-9,4980*	1,8490*	1,0405*			
	Classe 3	-8,0265*	2,0048*	0,3790*			
Polinômio do 5º grau	Geral	1,0867*	-2,0859*	11,2029*	-32,3936*	41,3408*	-19,1422*
	Classe 1	1,1338*	-2,7477*	15,4139*	-43,4389*	53,4193*	-23,7654*
	Classe 2	1,0766*	-2,0874*	11,4110*	-32,9875*	42,2027*	-19,6099*
	Classe 3	1,0586*	-1,6108*	7,4792*	-21,4652*	28,2730*	-13,7322*
Polinômio das potências inteiras e fracionárias	Geral	1,0997*	-0,1688*	-0,5243*	-0,4064*		
	Classe 1	8,4639*	-0,1930*	-7,5363*	-1,2312*	-0,2739*	0,7705*
	Classe 2	-1,7291*	-0,1629*	2,9240*	-0,5342*	-0,4975*	
	Classe 3	1,0794*	-0,1669*	-0,5262*	-0,3865*		

Em que: * e ^{ns} significativo e não significativo a 95% de probabilidade pelo teste *t*, respectivamente; Classes 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm), 3 (50-70cm), e geral (10-70 cm).

FONTE: O autor (2015)

TABELA 2.8 - ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES, POR CLASSE DE DIÂMETRO E GERAL, PARA ESTIMAR O DIÂMETRO E VOLUME AO LONGO DO FUSTE, VOLUME COMERCIAL E VOLUME TOTAL DO FUSTE

Equações Volumétricas					
	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$	V	MD	DPD
Volume comercial					
Geral (10-70 cm)	0,9839	10,56	-0,0339	0,0976	0,1840
Classe 1 (10-30 cm)	0,9898	7,59	0,0001	0,0173	0,0259
Classe 2 (30-50 cm)	0,9769	5,29	-0,0042	0,0632	0,0846
Classe 3 (50-70 cm)	0,8249	10,07	-0,1672	0,2287	0,3105
Classes (1/2/3)	0,8822	1,44	-0,0523	0,0976	0,1822
Volume do fuste					
Geral (10-70 cm)	0,9793	12,05	-5,2393E-02	0,1104	0,2235
Classe 1 (10-30 cm)	0,9956	5,00	-6,7740E-04	0,0116	0,0180
Classe 2 (30-50 cm)	0,9803	4,84	-4,3840E-03	0,0566	0,0825
Classe 3 (50-70 cm)	0,7705	11,32	-2,3656E-01	0,2982	0,3527
Classes (1/2/3)	0,8487	1,54	-7,3757E-02	0,1145	0,2154
Equações de afilamento					
	R^2_{ajust}	$S_{yx}\%$	V	MD	DPD
Diâmetro					
Geral (10-70 cm)	0,9943	4,14	-0,1314	0,8790	1,2800
Classe 1 (10-30 cm)	0,9944	4,34	-0,0348	0,4937	0,7122
Classe 2 (30-50 cm)	0,9935	3,38	-0,0381	0,7836	1,0938
Classe 3 (50-70 cm)	0,9876	3,66	-0,0179	1,2299	1,7410
Classes (1/2/3)	0,9912	3,89	-0,0311	0,8095	1,2087
Volume ao longo do fuste					
Geral (10-70 cm)	0,9950	8,84	-0,0172	0,0357	0,0761
Classe 1 (10-30 cm)	0,9961	6,77	-0,0030	0,0071	0,0116
Classe 2 (30-50 cm)	0,9963	5,10	-0,0031	0,0266	0,0409
Classe 3 (50-70 cm)	0,9934	6,41	-0,0038	0,0639	0,1185
Classes (1/2/3)	0,9940	7,69	-0,0033	0,0304	0,0678
Volume comercial					
Geral (10-70 cm)	0,9936	8,03	-0,0268	0,0795	0,1385
Classe 1 (10-30 cm)	0,9939	6,69	-0,0035	0,0126	0,0225
Classe 2 (30-50 cm)	0,9787	5,51	-0,0128	0,0627	0,0871
Classe 3 (50-70 cm)	0,9884	7,43	-0,0141	0,1621	0,2736
Classes (1/2/3)	0,9897	7,48	-0,0099	0,0736	0,1312
Volume do fuste					
Geral (10-70 cm)	0,9939	8,21	-0,0214	0,0882	0,1533
Classe 1 (10-30 cm)	0,9958	5,59	-0,0014	0,0110	0,0201
Classe 2 (30-50 cm)	0,9749	6,20	-0,0024	0,0735	0,1061
Classe 3 (50-70 cm)	0,9899	7,86	0,0177	0,1695	0,3130
Classes (1/2/3)	0,9908	7,60	0,0038	0,0790	0,1434

FONTE: O autor (2015)

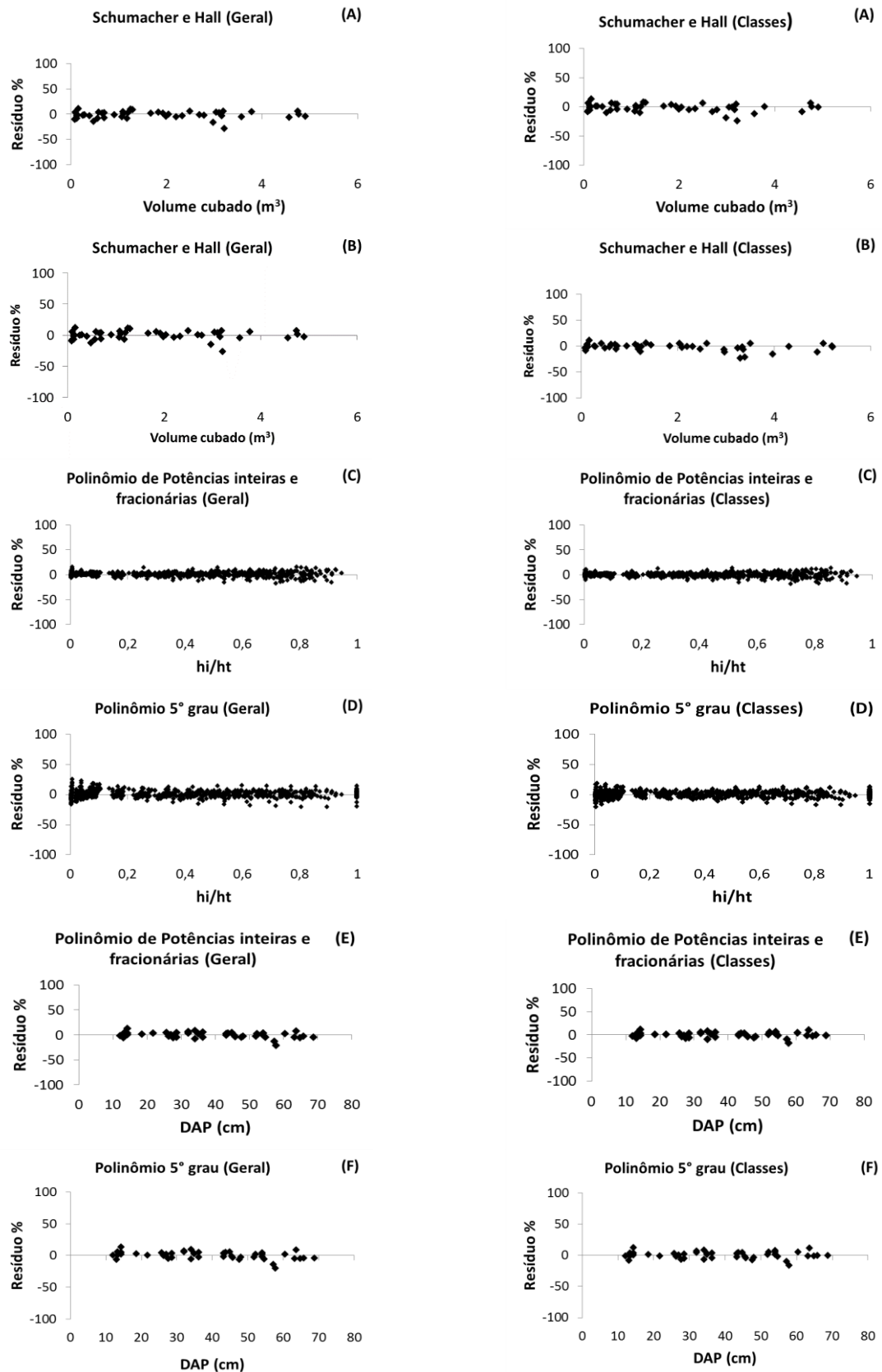


FIGURA 2.4 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS POR CLASSES DE DAP E GERAL DAS VARIÁVEIS ESTIMADAS: VOLUME COMERCIAL (A) E VOLUME TOTAL DO FUSTE (B) COM MODELOS VOLUMÉTRICOS; DIÂMETRO (C) E VOLUME AO LONGO DO FUSTE (D), VOLUME COMERCIAL (E) E VOLUME TOTAL DO FUSTE (F)

FONTE: O autor (2015)

Hoogh *et al.* (1978), utilizando dados de *Araucaria angustifolia*, com idades variando de 5 a 46 anos, selecionaram dentre várias equações de volume, a de Spurr-variável combinada, enquanto Hosokawa *et al.* (1980), em plantio de *Araucaria angustifolia*, em Missiones, Argentina, recomendaram o uso do modelo de Spurr.

Conforme discutido por Lima (1986) a flexibilidade de funções de afilamento e a forma do perfil do tronco de cada espécie são os fatores que mais determinam a eficiência deste tipo de função. Do mesmo modo, a eficiência de modelos volumétricos pode variar entre espécies, sítios, idade, etc. Eisfeld *et al.* (2008), ao comparar o modelo de afilamento de Hradetzky, na estimativa do volume total de *Araucaria angustifolia*, com o modelo de volume de Spurr-variável combinada, constataram que embora apresentasse boas estatísticas, a distribuição porcentual dos resíduos do modelo de Spurr-variável combinada superestimou os volumes na classe de menores diâmetros.

Semelhante ao obtido no presente trabalho, o modelo de Schumacher e Hall foi recomendado por Mattos *et al.* (2010) para estimar volume comercial para *Araucaria angustifolia*, em remanescente de Floresta Ombrófila Mista (FOM), na região de Caçador, SC, e por Oliveira *et al.* (2011) para estimar volume do fuste, em um plantio de *Araucaria angustifolia* estabelecido em 1967, em Rio Negro, PR. O modelo de Schumacher e Hall também apresentou bom desempenho para a estimativa de volume em plantios de outras coníferas, podendo-se citar *Pinus* spp. (MACHADO *et al.*, 2002; THOMAS *et al.*, 2006).

Entre os vários modelos existentes para expressar o volume de madeira, o modelo proposto por Schumacher e Hall (1933) tem sido um dos mais difundidos na área florestal, por suas propriedades estatísticas, uma vez que resulta em estimativas quase sempre não tendenciosas (CAMPOS; LEITE, 2009). Em comparação com os demais modelos testados, ele é o único que estima o volume utilizando a altura e o dap nas formas originais, gerando um parâmetro para cada variável e guardando a mesma estrutura da fórmula do volume do cilindro, porém com a correção da forma distribuída nas potências de cada uma das variáveis do modelo e também na constante que gera a base do cilindro.

Equações volumétricas podem apresentar bom desempenho nas estimativas de volume, no entanto, de acordo com Prodan *et al.* (1997), os modelos de afilamento permitem estimar o diâmetro em qualquer ponto do fuste, a altura total ou a altura em

que se encontra um diâmetro especificado no fuste e o volume entre pontos quaisquer do fuste.

O polinômio de potências inteiras e fracionárias apresentou o melhor desempenho para estimar o diâmetro ao longo do fuste em *Pinus* spp. (ASSIS *et al.*, 2002; MACHADO *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2011). E o polinômio de 5º grau foi utilizado por Burger *et al.* (1980) para descrever o perfil de *Araucaria angustifolia*, com excelentes resultados.

Considerando os valores obtidos para as estatísticas (TABELA 2.8), observam-se melhores resultados do ajuste para os modelos estratificados por classe em relação ao ajuste geral para a estimativa de todas as variáveis. Isso foi destacado por Rosot *et al.* (1990), que observaram melhores resultados para as estimativas de volume de *Pinus taeda* pelo polinômio de 5º grau e por potências inteiras e fracionárias realizadas em diferentes classes de diâmetro.

Com a seleção dos melhores modelos volumétricos e de afilamento, procedeu-se o teste de identidade entre modelos conforme proposto por Graybill (1976). Este teste foi realizado para verificar a necessidade do ajuste de equações estratificando os dados em classes (TABELA 2.9).

TABELA 2.9 - TESTE DE IDENTIDADE ENTRE MODELOS

	Modelos completos	Modelo reduzido	F
Schumacher e Hall - Volume comercial	1+2+3	(123)	6,063*
Schumacher e Hall - Volume fuste	1+2+3	(123)	5,048*
Polinômio do 5º grau	1+2+3	(123)	54,021*
Polinômio das potências inteiras e fracionárias	1+2+3	(123)	65,096*

Em que: ^{ns} e *: não significativo e significativo pelo teste F de Graybill, a 95% de probabilidade, respectivamente. 1 = Classe 1 (10-30 cm), 2 = Classe 2 (30-50 cm), 3 = Classe 3 (50-70 cm).

FONTE: O autor (2015)

O resultado significativo ao comparar o ajuste estratificando os dados em três classes e o ajuste das classes conjuntamente, implica na diferença entre os modelos. Com base na diferença estatística observada entre os modelos, e uma vez que se trata de um povoamento com grande amplitude diamétrica, o uso de modelo único com parâmetros comuns não é o recomendado para o povoamento, mostrando a importância de se utilizar modelos estratificando os dados em classes, para se obter o modelo que melhor represente a variação de volume das árvores do povoamento.

Além disso, o ajuste por classe de diâmetro é recomendado, pois é uma forma de reduzir variabilidade, conforme também observado por outros autores (ROSOT *et al.*, 1990; SILVA, 1994; ASSIS *et al.*, 2001; SANTOS *et al.*, 2006).

3.4 QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME POR HECTARE

Aplicando-se a relação hipsométrica obtida pelo modelo de Trorey para obtenção da altura do fuste e o polinômio do 5º grau para obtenção do volume do fuste, foi possível obter a distribuição real do volume de madeira.ha⁻¹ (FIGURA 2.5 A). De forma complementar, ao se aplicar os modelos de Trorey e o polinômio do 5º grau juntamente com a função densidade de probabilidade de Weibull-3P ajustada e selecionada para o povoamento em estudo, foi possível projetar o estoque madeireiro do povoamento (FIGURA 2.5 B). Nota-se que devido à função Weibull-3P estimar um número muito reduzido de árvores por hectare para as classes de maiores diâmetros, o volume projetado nessas classes é muito inferior ao volume real.

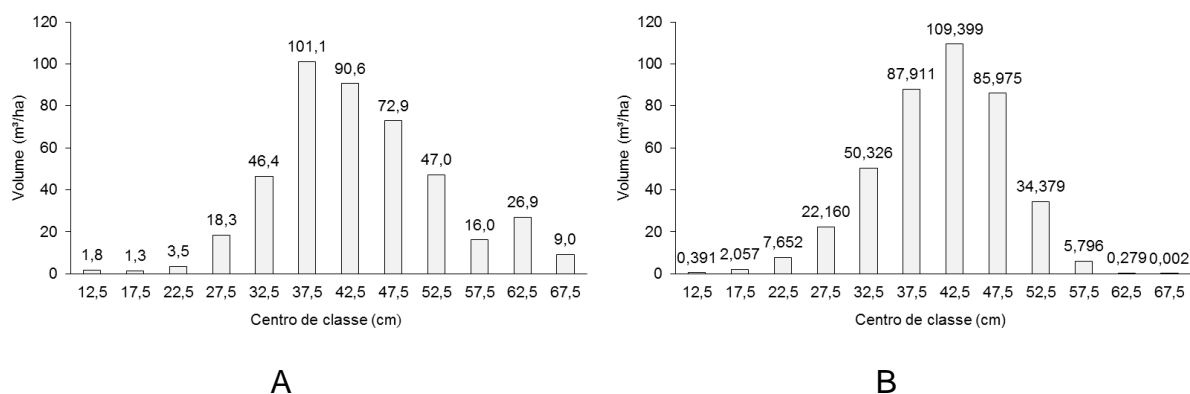


FIGURA 2.5 - VOLUME DE MADEIRA.HA⁻¹ EM CLASSES DIAMÉTRICAS PARA *Araucaria angustifolia* COM BASE NA DISTRIBUIÇÃO REAL DO POVOAMENTO (A) E ESTIMADO COM A FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DE WEIBULL-3P (B)

FONTE: O autor (2015)

De forma semelhante ao observado para a distribuição de frequência diamétrica (FIGURA 2.1), percebe-se grande concentração de volume nas classes intermediárias, além de árvores distribuídas em classes de diâmetro pequenas, com indicativos de povoamento não manejado.

Verificou-se que o povoamento apresenta, em média, $434,7 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ de volume de fustes, o que resulta em um incremento de $6,7 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, desconsiderando o volume retirado no desbaste realizado na década de 1970 e 1980, uma vez que não se teve controle do mesmo. Considerando-se que é admissível esperar um incremento volumétrico de 10 a $23 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (WEBB *et al.*, 1984) e em casos excepcionais de $30 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ com casca (CARVALHO, 2003), então o povoamento devido ao longo período sem manejo possui baixa produtividade, de forma que intervenções devem ocorrer visando o favorecimento de árvores remanescentes.

Em situação de plantio manejado adequadamente, com o aumento da idade e a condução de desbastes a distribuição de árvores estaria representada com deslocamento para a direita (MACHADO *et al.*, 2006; NOGUEIRA *et al.*, 2006, TÊO *et al.*, 2011), podendo-se esperar volume de madeira, principalmente para as árvores nas maiores classes diamétricas, muito superior ao observado nas condições atuais, considerando o mesmo ciclo do povoamento em estudo.

4 CONCLUSÕES

A distribuição diamétrica atual indica condição de povoamento estagnado sob competição, com coorte no início da distribuição diamétrica, provavelmente decorrente da abertura de clareiras resultantes do desbaste ocorrido entre as décadas de 1970 e 1980, e a partir daí apresenta-se unimodal.

Em plantios superestocados, com alta variabilidade diamétrica, percebe-se a necessidade da modelagem do volume diferenciando as árvores por classe diamétrica.

A aplicação da função densidade de probabilidade de Weibull-3P, do modelo de Trorey e do polinômio do 5º grau por classe diamétrica, possibilita a estimativa do estoque madeireiro por hectare distribuído em classes diamétricas.

O plantio superestocado apresenta incremento volumétrico médio anual muito abaixo do potencial da espécie.

Com a função densidade de probabilidade selecionada, Weibull-3P, é possível projetar a distribuição diamétrica do povoamento, quando analisada de forma complementar com informações de crescimento em diâmetro, caso este permaneça não manejado.

5 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a condução de desbaste para favorecimento do crescimento das árvores remanescentes, visto que a falta de manejo resultou em incremento volumétrico médio anual muito abaixo do potencial da espécie. No entanto, é importante conduzir o monitoramento das árvores remanescentes, para confirmação da recuperação do crescimento pós desbaste.

REFERÊNCIAS

- ANUCHIN, N. P. **Forest Mensuration**. 2 ed. Jerusalem: Kiter Press, 1970. 454 p.
- ARCE, J. E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* Marsh através de distribuições diamétricas probabilísticas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, p. 149-164, 2004.
- ASSIS, A. L., SCOLFORO, J. R. S., MELLO, J. M., OLIVEIRA, A. D. Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 89-107, 2002.
- ASSIS, A. L.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A.D. Comparação de modelos polinomiais segmentados e não segmentados na estimativa de diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 20-42, 2001.
- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia**: Teoria e prática, Pelotas: Ed. Universitária/ UFPel, 1996. 161 p.
- BAILEY, R. L.; DELL, T. R. Quantifying diameter distribution with the Weibull function. **Forest Science**, v. 19, n. 2, p. 97-104, 1973.
- BURGER, D.; HOSOKAWA, R. T.; MACHADO, S. A. Desenvolvimento da forma de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: IUFRO, PROBLEMAS FLORESTAIS DO GÊNERO *Araucaria*, 1980, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1980. p. 320-329.
- CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; SCHEEREN, L. W.; WATZLAWICK, L. F. Relação hipsométrica para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze na região oeste do estado do Paraná. **Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 79-88, 2003.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. Viçosa: UFV, 3.ed, 548 p., 2009.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, 2003. 1039 p.
- CLAESSENS, L.; VERBURG, P. H.; SCHOORL, J. M.; VELDKAMP, A. Contribution of topographically based landslide hazard modelling to the analysis of the spatial distribution and ecology of Kauri (*Agathis australis*). **Landscape Ecology**, v. 21, p. 63-76, 2006.
- CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENNAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management**: a quantitative approach. New York: John Wiley and Sons Ltd. 1983. 333 p.

DEMAERSCHALK, J. P. Converting volume equations to compatible taper equations. **Forest Science**, v. 18, n. 3, p. 241-245, 1972.

DIETRICH, A. B. **Relações entre dados analíticos do solo: análise foliar e dados de crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1979.

EISFELD, R. L.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; MAESTRI, R.; WEBER, K. S. Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L. por meio de função probabilística. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 2, p. 317-328, 2005.

EISFELD, R. L.; VIGOLO, D. Z.; SANQUETTA, C. R.; MELLO, A. A. Modelo de Hradetzky aplicado à estimativa do volume total para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 51-66, 2008.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; KOHLER, S. V.; VERUSSA, A. A.; CHIQUETTO, A. L. Evolution of the hypsometric relationship in *Araucaria angustifolia* plantations in the mid-south region of Paraná state. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 347-357. 2010.

FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH K. L. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**. v. 83, p. 39-46, 1996.

GORGENS, E. B.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; GLERIANI, J. M. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. **Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1141-1147, 2009.

GRAYBILL, F. A. **Theory and Application of the Linear Model**. Belmont: Duxbury Press, 1976. 704p.

GULLISON R. E.; PANFIL S. N.; STROUSE J. J.; HUBBELL S. P. Ecology and management of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in the Chimanes Forest, Beni, Bolivia. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 122, p. 9-34, 1996.

HILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London: Faber and Faber, 1959. 123 p.

HRADETZKY, J. **Analyse und Interpretation Statistischer Abhängigkeiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellen Forschungs Projekten)**. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. 146 p. (Abt. Biometric und Informatik, 21).

HOOGH, R. J.; DIETRICH, A. B.; AHRENS, S. Classificação de sítio, tabelas de volume e de produção para povoamentos artificiais de *Araucaria angustifolia*. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 9, n. 36, p. 58-82, 1978.

HOSOKAWA, R. T.; MARADEI, D.; MOREIRA, R. M.; HARO, J. A. L.; DIAS, N. F.; KESIKOWSKI, H. Modelos matemáticos para volumetria de *Araucaria angustifolia* em

Misiones (Celulosa Argentina). In: IUFRO, PROBLEMAS FLORESTAIS DO GÊNERO *Araucaria*, 1980, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1980. p. 332-338.

HUSCH, B.; MILLER, I. C.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York: John Wiley, 1982. 402 p.

INVENTÁRIO florestal: **FLONA de Açungui**: 4ª versão. Curitiba/PR: Serviço Florestal Brasileiro-SFB; Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBIO, 2012. 41 p. Relatório técnico (não publicado).

KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. H. G. Taper functions and their application in Forest inventory. **Forestry Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.

KRAMER, P. J.; KOSLOWSKI T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 745 p.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; RODRIGUES, F. L. Um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 89-98, 2006.

LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. **Estatística: Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 2000. 811 p.

LIMA, F. S. **Análise de funções de Taper destinadas à avaliação de multiprodutos de árvores de *Pinus elliottii***. Viçosa, 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Reinbek: Federal Research Organization for Forestry and Forest Products, Forest Inventory Section, 1973. 469 p. v. 2.

MACHADO, S. A.; BARTOSZEK, A. C. P. S.; OLIVEIRA, E. B. Estudo da estrutura diamétrica para a *Araucaria angustifolia* em florestas naturais nos estados da região sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 26, n. 1-2, p. 59-70, 1998.

MACHADO, S. A.; MELLO, J. M.; BARROS, D. A. Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área, para o pinheiro do Paraná, na região sul do Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 55-66, 2000.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185-196, 2002.

MACHADO, S. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FIGUEIREDO, J. D. Comparação de modelos de afilamento do tronco para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa* Schiede. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 48, p. 41-64, 2004.

MACHADO, S. A., BARTOSZECK, A. C. P. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da distribuição diamétrica de bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 759-768, 2006.

MACHADO, S. A., NASCIMENTO, R. G. M., AUGUSTYNICZIK, A. L. D., SILVA, L. C. R., FIGURA, M. A., PEREIRA, E. M., TÉO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 5-16. 2008.

MACHADO, S. A.; AUGUSTYNICZIK, A. L. D.; NASCIMENTO, R. G. M.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; MIGUEL, E. P.; TÉO, S. J. Distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 103-110, 2009.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; MIGUEL, E. P.; TÉO, S. J.; AUGUSTYNICZIK, A. L. D. Distribution of total height, transverse area and individual volume for *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, 2010.

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; BERNDT, E. J.; OLIVEIRA, Y. M. M. **Equação de volume para araucárias centenárias da Reserva Florestal Embrapa/Epagri**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 256).

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, E. G.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H.; COUTO, L. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 377-387, 2006.

OGDEN, J. An introduction to plant demography with special reference to New Zealand trees. **New Zealand Journal of Botany**, v. 23, p. 751-772, 1985.

O'HARA, K. L. Dynamics and stocking-level relationships of multi-aged ponderosa pine stands. **Forest Science**, v. 42, n. 2, 1996. Monograph 33.

OLIVEIRA, M. F.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C.; SANTOS, W. C. **Equação de volume para um plantio de *Araucaria angustifolia* em Rio Negro, PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 275).

ORELLANA, E. **Sucessão florestal, regimes de manejo e competição avaliados por modelos de árvore individual em um fragmento de floresta de araucária**. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PALUDO, G. F.; MANTOVANI, A.; KLAUBERG, C.; REIS, M. S. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), na Reserva Genética Florestal de Caçador, estado de Santa Catarina. **Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1109-1121, 2009.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba, 1997. 316 p.

PELTONIEMI, M.; MÄKIPÄÄ, R. Quantifying distance-independent tree competition for predicting Norway spruce mortality in unmanaged forests. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 30-42, 2011.

PRODAN, M. **Forest biometrics**. Oxford, Pergamon Press, 1968. 447 p.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F. **Mensura forestal**. San José, Costa Rica: IICA, 586 p., 1997.

PULZ, F. A.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiana com a matriz de transição. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 1-14, 1999.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 1, p. 1-17, 1996.

RENNOLLS, K.; GEARY, D. N.; ROLLINSON, T. J. D. Characterizing diameter distributions by the use of the Weibull distribution. **Forestry**, v. 58, n. 1, p. 57-66, 1985.

ROSOT, M. A. D. ; MACHADO, S. A. ; ROSOT, N. C. Estudo de modelos matemáticos para estimar o volume por hectare em um povoamento de *Pinus taeda* L. em Piraí do Sul - PR. In: 6º. CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBS, 1990. v. 3. p. 126-138.

RYDER, N. B. The Cohort as a concept in the study of social change. **American Sociological Review**, v. 30, n. 6, p. 843-861, 1965.

SANQUETTA, C. R.; THIELE, P.; CÔRTE, A. P. D. Crescimento, mortalidade e recrutamento de duas Florestas de Araucária no Estado do Paraná, Brasil, no período de 1995-2007. **Naturalia**, Rio Claro, v. 33, p. 117-126, 2010.

SANTOS, K.; SANQUETTA, C. R.; EISFIELD, R. L. WATZLAWICK, L. F.; ZILIOTTO, M. A. B. Equações volumétricas por classe diamétrica para algumas espécies folhosas da Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Brasil. **Ciências Exatas e Naturais**, v. 8, n. 1, p. 99-112, 2006.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2ª ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Modelos de Crescimento e Produção Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393 p.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Washington, D. C., v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil de *Pinus elliottii*. **Cerne**, Lavras. v. 4, n. 1, p. 100-122, 1998.

SEITZ, R. Crown development of *Araucaria angustifolia* in its natural environment during sixty years. In: CROWN AND CANOPY STRUCTURE IN RELATION TO PRODUCTIVITY, 1986, Ibaraki. **Anais...** Ibaraki: Forestry and Forest, Products Research Institute, 1986. p. 129-146.

SILVA, F.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 367-376, 2011.

SILVA, J. A. Equações para estimar a composição percentual do volume de *Eucalyptus* spp. por classe de diâmetro na região do Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 1, p. 80-85, 1994.

SILVER, E. J.; D'AMATO, A. W.; FRAVER, S.; PALIK, B. J.; BRADFORD, J. B. Structure and development of old-growth, unmanaged second-growth, and extended rotation *Pinus resinosa* forests in Minnesota, USA. **Forest Ecology and Management**, v. 291, p. 110-118, 2013.

SOARES, R. V. Considerações sobre a regeneração natural da *Araucaria angustifolia*. **Floresta**, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 12-18, 1979.

SOUZA, A. F.; FORGIARINI, C.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Regeneration patterns of a long-lived dominant conifer and the effects of logging in southern South America. **Acta Oecologica**, v. 34, p. 221-232, 2008.

TÉO, S. J.; ROCHA, S. P.; BORTONCELLO, A. C.; PAZ, R. A.; COSTA, R. H. Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda*, na região de Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 67, p. 183-192, 2011.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Proporção da diócia e distribuição diamétrica de árvores masculinas e femininas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, em povoamentos implantados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 425-431, 2009.

WEBB, D.B.; WOOD, P.J.; SMITH, J.P.; HENMAN, G.S. **A guide to species selection for tropical and subtropical plantations**. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1984. 2ed. 256p. (Tropical Forestry Papers, 15).

CAPÍTULO III

DISTRIBUIÇÃO DO INCREMENTO AO LONGO DO FUSTE DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. EM PLANTIO SUPERESTOCADO

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento ao longo do fuste de *Araucaria angustifolia* de um plantio superestocado e avaliar o efeito da competição no crescimento das árvores. O trabalho foi desenvolvido em um plantio estabelecido em 1946, na Floresta Nacional de Açungui, localizada em Campo Largo, PR, com registro de desbaste no período entre 1970 a 1980. Foram selecionadas e derrubadas 46 árvores objetivo (SISBIO 35355-1), distribuídas em classes de diâmetro, variando de 10 a 70 cm, obtendo-se 14 discos por árvore. Foram identificadas as árvores competidoras de cada árvore objetivo, considerando aquelas cujas copas estavam em contato com a copa da árvore objetivo. Para todas as árvores mediu-se: diâmetro a 1,30 m de altura (dap), altura total e diâmetro e comprimento de copa. Verificou-se que a frequência de anéis de crescimento ausentes nas regiões basais é influenciada pelas variáveis dap e diâmetro de copa, bem como dap e distância das árvores competidoras. Até mesmo árvores de maiores diâmetros apresentaram sinais de crescimento reduzido devido ao efeito da competição. A importância da datação cruzada foi confirmada pela diferença entre os valores de crescimento real e quando se consideraram as camadas de crescimento sem datação. Observou-se diferenciação do padrão de crescimento ao longo da vida de árvores, decorrente de superação da competição e intervenções de desbaste, no entanto, não é possível prever a resposta de crescimento de árvores quando sujeitas às condições de alta competição por um longo período.

Palavras-chave: ausência de anéis de crescimento; competição.

CHAPTER III

GROWTH ALONG STEM OF *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. IN OVERSTOCKED PLANTATION

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the growth along the stem of *Araucaria angustifolia* in an overstocked plantation and to evaluate the competition effect on tree growth. The study was conducted in a plantation established in 1946, in National Forest of Açungui, located in Campo Largo, Parana State, Brazil, with one thinning recorded between 1970 and 1980. It were selected 46 objective trees (SISBIO 35355-1), representing diameter classes ranging from 10 to 70 cm. The trees were felled down and it was collected 14 discs per tree. The competitor trees were identified, considering those whose crowns were in contact with the crown of the objective tree. For all the trees it was measured: diameter at 1.30 m above soil level (dbh), total height, and diameter and length of crown. It was observed that the frequency of absent growth rings at the bases of trees was influenced by the variables dbh and crown diameter, as well as dbh and distance from competitor trees. Even larger diameter trees showed slow growth signals due to the effect of the competition. The importance of cross-dating was confirmed by the difference between the real growth values and when the growth rings were considered without dating. It was noted differences in growth pattern along the tree's life due to overcoming competition and thinning, however it is not possible to predict the growth response of trees when under high competition conditions for a long period.

Keywords: absence of growth rings; competition.

1 INTRODUÇÃO

As florestas não se expressam igualmente como um sistema de produção único. Cada povoamento florestal exige um manejo específico, que envolve tratamentos variados. Em geral, as espécies respondem diferentemente na recuperação do crescimento, após interferência, como por exemplo, desbaste (PLAUBORG, 2004).

Além disso, a heterogeneidade ambiental e o histórico de manejo da área podem resultar em situações distintas do desenvolvimento espaço temporal da floresta (KRUMM *et al.*, 2012), gerando maior complexidade para a aplicação de protocolos de manejo específicos.

Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. é uma conífera com histórico de exploração econômica para madeira serrada e energia (MAINIERI; CHIMELO, 1989; CARVALHO, 1994). Em função das limitações legais para sua exploração, os plantios florestais ganham espaço para a exploração da madeira dessa espécie.

Araucaria angustifolia já tem sido estudada em vários aspectos, como em manejo (NUTTO, 2001; HESS *et al.*, 2010), desrama natural (NUTTO; SPATHELF, 2003), crescimento em diâmetro (HESS *et al.*, 2009) crescimento em volume (HESS; SCHNEIDER, 2010) e em altura (SCHEEREN *et al.*, 1999; HESS; SCHNEIDER, 2009), ajuste de equações volumétricas (OLIVEIRA *et al.*, 2011; MATTOS *et al.* 2010a; THOMAS *et al.*, 2006), relação hipsométrica (MACHADO *et al.*, 2008); avaliação do crescimento em diâmetro e dendroclimatologia (SEITZ; KANNINEN, 1989; MATTOS *et al.*, 2007a; 2007b; 2010b; OLIVEIRA *et al.*, 2009; ZANON; FINGER, 2010), dentre outros.

No entanto, existe uma grande lacuna de conhecimento sobre sua dinâmica de crescimento ao longo do fuste em condições de competição. Estudos com outras espécies indicam que árvores suprimidas apresentam maior crescimento nas partes superiores do fuste, enquanto em árvores livres de concorrência o maior crescimento em área transversal é registrado na base da árvore (ASSMANN, 1970; ANDRADE *et al.*, 2007).

Assim que se inicia a competição entre as árvores, devido ao fechamento do espaço aéreo pelas copas, inicia-se também a diferenciação de classes sociológicas, nas quais alguns indivíduos se sobressaem no dossel da floresta, enquanto outros

são dominados por seus vizinhos (DURLO, 2001), tendo como resultado o decréscimo e ou estagnação do crescimento e consequente inibição na formação de anéis.

Diversos autores verificaram alta frequência de anéis ausentes ao longo do tronco em várias espécies (TAKAOKA, 1993; LORIMER *et al.*, 1999; PARENT *et al.*, 2002; NOVAK *et al.*, 2011). Ausências de anéis de crescimento são comuns em coníferas (RAVENTÓS *et al.*, 2001), e indicam ausência na produção de madeira pelo câmbio em determinados anos, devido a diferentes limitações de crescimento, tais como eventos climáticos desfavoráveis, competição, entre outros (CHERUBINI *et al.*, 2002).

Objetivou-se com o presente capítulo, avaliar o crescimento ao longo do fuste de *Araucaria angustifolia* de um plantio superestocado devido à falta de manejo e avaliar o efeito da competição no crescimento das árvores.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido em uma área de plantio de aproximadamente 131 hectares de *Araucaria angustifolia*, estabelecido em 1946, na Floresta Nacional de Açungui, localizada no município de Campo Largo, PR, com registro de desbaste realizado no período entre 1970 a 1980. Visto que a última intervenção sofrida data de mais de 30 anos, atualmente com 68 anos, o povoamento encontra-se sob intensa competição.

2.2 COLETA DE DADOS

Foram selecionadas 46 árvores (objetivos) distribuídas em seis classes de diâmetro, com intervalo de classes de 10 cm, variando de 10 a 70 cm. Árvores ativamente concorrentes com cada árvore objetivo foram identificadas, considerando aquelas cujas copas estavam em contato com a copa da árvore objetivo de cada parcela, sendo este número variável para cada árvore objetivo.

De todas as árvores foram obtidas as variáveis: diâmetro à altura do peito (dap), considerado a 1,30 m de altura do solo, em centímetros; altura, em metros; diâmetro de copa (duas vezes a média aritmética de oito raios medidos), em metros. As árvores competidoras foram espacializadas, sendo anotada a posição em que cada uma estava localizada, bem como a distância em relação à árvore objetivo.

As 46 árvores selecionadas foram abatidas (SISBIO 35355-1), sendo cada uma dividida em seções, em que o primeiro disco foi retirado à altura de 0,1 m do solo, em seguida a 0,5 m; 1,0 m; 1,30 m e posteriormente a cada 10% até atingir 100% da altura comercial, considerada no último verticilo, totalizando 14 discos por árvore.

2.3 PREPARO DE AMOSTRAS E MEDIÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

Os discos foram secos à temperatura ambiente e lixados de maneira gradual, para melhor visualização dos anéis de crescimento. Após preparo, foram traçados quatro raios em cada disco, sendo o primeiro traçado no maior comprimento a partir da medula. No caso de discos com irregularidades ou deslocamento de medula, foram traçados oito raios.

Foi realizada a marcação e medição dos anéis de crescimento em cada raio, com auxílio de microscópio estereoscópico e de mesa de mensuração LINTAB, com precisão de 0,01 mm, e do programa Time Series Analysis and Presentation – TSAP (RINN, 1996).

Para a confirmação da camada de crescimento anual foi feita a datação cruzada entre os raios, gerando uma série dos incrementos médios. Posteriormente, as séries foram datadas entre discos e entre árvores. Foi utilizado o software COFECHA (HOLMES, 1983) para a datação das séries medidas, para assegurar a associação do ano correto a cada anel anual. Foram analisados em cada teste períodos de 50 em 50 anos com defasagem de 25 anos. Tal amplitude de análise apresenta correlação crítica de 0,3281 ($p < 0,01$) para a existência de similaridade entre os padrões de crescimento dos diferentes indivíduos.

Após a datação cruzada no COFECHA, as sugestões do software foram confirmadas visualmente. Como Holmes (1983) apontou, o COFECHA não é um substituto para datação cruzada visual, mas se destina a ser usado em apoio a ela.

2.4 ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA

A análise de tronco completa (ANATRO) possibilita a medição do diâmetro com casca apenas para a idade de corte da árvore, sendo que para todas as idades anteriores os diâmetros obtidos são sem casca. Como a medição no campo e comercialização da matéria prima florestal emprega diâmetros com casca, foi realizada a estimativa dos diâmetros com casca ao longo do tronco, para todas as

idades da árvore. Dessa forma, foi necessário dispor dos diâmetros ao longo do fuste com casca nas várias idades.

Assim, foi ajustado um modelo que pudesse estimar o dap com casca em qualquer idade, a partir de variáveis disponíveis em cada árvore da ANATRO, tais como: dap final com casca, dap sem casca ao longo dos anos, altura total nas várias idades de corte de cada árvore, além da própria idade. O modelo utilizado foi proposto por Schneider (1978), utilizado por Figueiredo Filho *et al.* (2010) para *Araucaria angustifolia*:

$$\ln(dcc) = \beta_0 + \beta_1 \ln(dsc) + \beta_2 \ln(hI) + \varepsilon$$

Em que: \ln = logaritmo neperiano; dcc = diâmetro com casca (cm); dsc = diâmetro sem casca (cm); h = altura para cada diâmetro (m); I = idade (anos); β_i = parâmetros do modelo ajustado ($i = 0, 1, 2 \dots n$); e ε = erro de estimativa.

Utilizou-se o suplemento FlorExel® - OPTIMBER (2014) que reúne um conjunto de ferramentas para dados florestais e que trabalha em conjunto com o Excel®, para obtenção da altura por meio da análise de tronco, sendo utilizado como método o teorema de Tales, em que um feixe de retas paralelas determina em quaisquer duas transversais, segmentos proporcionais.

A avaliação do modelo foi feita considerando o erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$), o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), e a análise gráfica de resíduos.

2.5 EFEITO DA COMPETIÇÃO NA FORMAÇÃO DE ANÉIS DE CRESCIMENTO

Foi realizada análise de variância, adotando-se o nível de 95% de probabilidade para avaliar se a formação de anéis é influenciada pelas variáveis dap, altura total, diâmetro de copa e comprimento de copa. Quando observadas diferenças, aplicou-se o teste de Tukey, a 95% de probabilidade.

A mesma análise foi realizada considerando-se variáveis de árvores competidoras. Para isso, foram utilizados os índices de competição de Stage (1973), Moore *et al.* (1973) adaptado, Alvarez Taboada *et al.* (2003) e Ek e Monserud (1974)

(TABELA 3.1), que avaliam respectivamente o diâmetro das árvores vizinhas, distância e diâmetro da maior competidora, distância e área de copa das árvores vizinhas, e área de sobreposição de copa entre a árvore objetivo e as árvores vizinhas juntamente com suas alturas.

Todas as árvores amostradas foram georreferenciadas no ArcGis, com as coordenadas obtidas no campo, sendo utilizado como diâmetro de copa, a média dos 8 raios medidos em cada árvore no campo. Essas informações foram utilizadas para calcular os índices com influência de área de copa de Alvarez Taboada *et al.* (2003) e Ek e Monserud (1974).

TABELA 3.1 - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO UTILIZADOS PARA AVALIAR A FORMAÇÃO DE ANÉIS DE CRESCIMENTO EM ÁRVORES DE *Araucaria angustifolia* COM 65 ANOS EM CONDIÇÕES DE COMPETIÇÃO

Classificação	Fórmula	Variáveis utilizadas
Índice independente da distância (IID)	$Stage (1973) = \frac{d_i}{q}$	diâmetro das árvores vizinhas
Índice dependente da distância (IDD)	$Moore et al. (1973) = \sum_{j=1}^n \frac{d_i^2}{d_i^2 + d_j^2} \cdot L_{ij}$	distância e diâmetro da maior competidora
Índice com influência da área de copa (AC)	$Alvarez Taboada et al. (2003) = \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_j}{a_i \cdot L_{ij}} \right)$	distância e área de copa das árvores vizinhas
Índice com influência da área de sobreposição de copa (ASC)	$Ek e Monserud (1974) = \sum_{j=1}^n \left[\frac{a_{ij}}{a_i} \frac{R_j \cdot h_j}{R_i \cdot h_i} \right]$	área de sobreposição de copa juntamente com a altura

Em que: d_i e d_j = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (dap) da árvore objetivo i e da árvore competidora j (cm), respectivamente; h_i e h_j = altura total da árvore objetivo i e da árvore competidora j (m), respectivamente; q = diâmetro quadrático (cm); L_{ij} = distância entre a árvore objetivo e a árvore competidora (cm); a_i e a_j = área de copa da árvore objetivo i e da árvore competidora j (m²), respectivamente; a_{ij} = área de sobreposição entre a árvore objetivo i e a árvore competidora j (m²); R_i e R_j = raio médio da copa da árvore objetivo i e competidora j (m), respectivamente.

FONTE: O autor (2015)

Foi avaliada a influência da datação na análise de crescimento, utilizando o teste t para amostras dependentes, a 95% de probabilidade.

2.6 VARIAÇÃO DO INCREMENTO RADIAL AO LONGO DO FUSTE

Foram obtidos os valores de diâmetro acumulado com casca e do incremento em área transversal em diferentes alturas e idades. A análise de tronco completa das árvores derrubadas foi realizada, representada graficamente, para a interpretação visual das situações de competição durante a rotação.

Para isso, foram determinados os valores de incremento em diâmetro e em área transversal relativo para cada segmento, assumindo-se 100% para os valores observados à altura do dap. Os valores das alturas também foram convertidos para valores relativos, considerando-se 100% a altura total de cada árvore, possibilitando, assim, a comparação entre as árvores de diferentes classes de diâmetro atual e posição vertical na floresta. Buscou-se representar árvores cujo padrão de crescimento fosse o mais representativo para cada classe avaliada.

As avaliações foram realizadas em intervalos de tempo de 10 anos, até os 50 anos, e nos últimos anos foi realizado um maior detalhamento a fim de melhor verificar o comportamento das pressões ao longo do fuste.

2.7 DINÂMICA DOS DIÂMETROS DE ÁRVORES AO LONGO DO TEMPO

Um padrão de comportamento quanto as classes de diâmetro em que as árvores se encontram pode ser observado, no entanto, devido a interferências ocorridas em povoamentos florestais, mudanças nas classes podem ser verificadas.

Para verificar as alterações de classes de diâmetro ao longo da vida de árvores, foi realizada uma análise retrospectiva da variação diamétrica das árvores de acordo com a classe de diâmetro em que se encontram nas condições atuais do povoamento. As avaliações foram realizadas em intervalos de tempo, sendo verificados os diâmetros atingidos nas diferentes idades.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CONFIRMAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

Visando encontrar o padrão de crescimento diamétrico da espécie nas condições do estudo, as 46 séries dendrocronológicas foram analisadas em conjunto. Em virtude da baixa correlação das séries de crescimento de árvores de menores diâmetros (10-30 cm) apenas 30 (acima de 30 cm) foram utilizadas nas análises. Lorimer *et al.* (1999) sugerem a exclusão das cronologias de perturbação, uma vez que as árvores muito suprimidas são de valor limitado em reconstruir a história de perturbação e muitas vezes não podem ser datadas de forma confiável.

As 30 séries de crescimento analisadas apresentaram uma intercorrelação de 0,498, superior ao valor crítico de 0,3281 ($p < 0,01$), indicando existir correlação dependente positiva e significativa entre as séries, permitindo a construção de uma série mestre, a qual representa o padrão de crescimento da espécie na área de estudo. A série mestre foi utilizada para auxiliar a datação das árvores de menores tamanhos.

Apesar de anéis de crescimento ausentes serem muito frequentes em árvores suprimidas, tanto em condições naturais como em plantios, como relatado por Lorimer *et al.* (1999) para *Acer saccharum* Marsh., por meio da análise completa de tronco e datação cruzada entre árvores, foi possível verificar que algumas árvores de menor diâmetro eram regeneração ou seja, não apresentavam idade compatível com o plantio original. Acredita-se tratar de indivíduos provenientes de regeneração natural devido à abertura de clareiras na ocasião de um desbaste realizado entre as décadas de 1970 e 1980, sendo a idade compatível com essa hipótese.

As árvores provenientes da regeneração encontraram-se entre as classes de diâmetro de 10 a 30 cm. Algumas árvores presentes nesse limite de classe têm idade compatível com o plantio de 1946, apresentando diâmetros baixos devido ao menor crescimento inicial e competição com árvores vizinhas.

Os discos da base de árvores de maiores diâmetros apresentaram 65 camadas de crescimento, confirmando a idade de implantação do povoamento. A contagem das camadas de crescimento é uma das técnicas para confirmação da

idade em árvores plantadas com idade conhecida (POUSSART *et al.*, 2004; CHOWDHURY *et al.*, 2008; NICOLINI *et al.*, 2010; entre outros).

No entanto, nem todas as árvores das maiores classes de diâmetro atual apresentaram todos os anéis de crescimento na base e na altura de 1,30 m (dap). Observou-se a ausência de anéis próximos à casca, ficando, no entanto, evidente o incremento diamétrico nas partes mais altas da árvore, estando essas com idade compatível com a do povoamento. Dentre árvores dessas classes foi observado até dez anos de estagnação do crescimento na altura do dap, fato também confirmado pela datação ao longo do fuste. Anéis ausentes em *Araucaria angustifolia* também foram verificados por Seitz e Kanninen (1989).

Diante da diferença de idade e do comportamento do crescimento das árvores avaliadas na menor classe de diâmetro atual, essa foi subdividida, incluindo-se a classe de regeneração. Na TABELA 3.2 estão as divisões de classes com seus respectivos dap médio, idade média e número de árvores.

TABELA 3.2 - DIVISÃO EM CLASSE DE DIÂMETRO ATUAL

Classes	Classe de dap (cm)	dap médio (cm)	Idade média (anos)	Número de árvores
Regeneração	10-30	16,1	36	10
1 (menor)	10-30	27,4	65	6
2 (média)	30-50	39,8	65	16
3 (maior)	50-70	59,5	65	14

FONTE: O autor (2015)

Considerando apenas as árvores com idade compatível com o plantio original, foram analisadas 36 séries de crescimento (classes 1, 2 e 3), resultando em uma intercorrelação de 0,454, superior ao valor crítico de 0,3281 ($p < 0,01$), o que significa existir correlação dependente positiva e significativa entre as séries.

Assim, a datação cruzada foi bem conduzida para a maioria das árvores amostradas. No entanto, os resultados não foram conclusivos em 22% das árvores devido a baixa variabilidade da largura de anéis e vários anéis ausentes nas árvores oriundas de regeneração.

3.2 ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA

A equação ($\ln(dcc) = 0,5434 + 0,8976 \ln(dsc) + 0,0032 \ln(hl)$) para estimar os diâmetros com casca (dcc) nas diferentes idades, apresentou $S_{yx}\%$ de 4,61 e $R^2_{ajustado}$ de 0,98.

Avaliando os resíduos da equação (FIGURA 3.1) foi possível constatar que há uma dispersão maior nas estimativas dos menores diâmetros, formados na altura comercial. Como essas porções têm pouca influência na estimativa do volume comercial, tendências em subestimar ou superestimar esses diâmetros podem ser consideradas irrelevantes. Assim, a equação gerada foi adequada para a obtenção das estimativas dos diâmetros com casca, necessários para estabelecer os perfis com casca em cada idade. Esse mesmo procedimento foi utilizado por Figueiredo Filho *et al.* (2010) para a estimativa de diâmetros com casca de *Araucaria angustifolia*, com resultados satisfatórios.

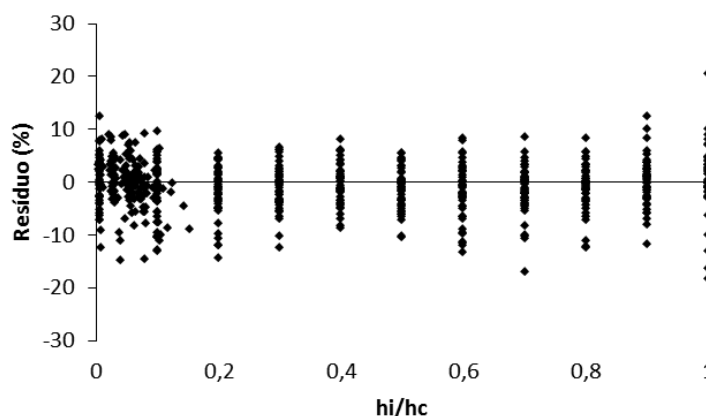


FIGURA 3.1 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA A EQUAÇÃO AJUSTADA PARA OBTENÇÃO DO DIÂMETRO COM CASCA
FONTE: O autor (2015)

3.3 EFEITO DA COMPETIÇÃO NA FORMAÇÃO DE ANÉIS DE CRESCIMENTO

A partir da datação cruzada dentro e entre árvores foi possível verificar que 63% das árvores avaliadas não formaram anel de crescimento a 1,30 m de altura (dap) há pelo menos um ano.

Assim, as árvores foram divididas em grupos de acordo com o número de anéis ausentes, sendo: grupo 1 (nenhum anel de crescimento ausente no disco a 1,30 m de altura do solo), grupo 2 (1 anel ausente), grupo 3 (2 anéis ausentes), grupo 4 (3 ou 4 anéis ausentes) e grupo 5 (5 ou mais anéis ausentes). Analisou-se então a frequência de anéis ausentes com o diâmetro, altura total da árvore e diâmetro e comprimento de copa (TABELA 3.3) buscando-se identificar quais dessas variáveis influenciavam a formação dos anéis de crescimento.

TABELA 3.3 - MÉDIA DE VARIÁVEIS POR GRUPOS CLASSIFICADOS DE ACORDO COM A FREQUÊNCIA DE ANÉIS AUSENTES NO DISCO A 1,30 m DE ALTURA DO SOLO

Grupo	Nº de anéis ausentes	dap	Altura	Diâmetro de copa	Comprimento de copa
1	Nenhum	48,8 a	22,1 a	10,6 a	1,7 a
2	1	45,2 ab	21,8 a	9,3 ab	2,0 a
3	2	28,3 b	18,2 a	6,2 b	1,5 a
4	3 ou 4	28,1 b	17,1 a	6,6 b	1,2 a
5	≥ 5	26,7 b	18,1 a	6,2 b	1,0 a
F		5,89*	2,99 ^{ns}	4,85*	2,26 ^{ns}
CV%		36,09	20,14	34,42	49,13

Em que: * e ^{ns} significativo e não significativo a 95% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

FONTE: O autor (2015)

De um modo geral, quanto menor os valores de dap e diâmetro de copa para árvores de mesma idade, maior a frequência de anéis ausentes (TABELA 3.3). Esse resultado era esperado, considerando que em povoamentos florestais de alta densidade, as árvores estão em constante competição pelo espaço aéreo e pelo solo. Algumas árvores superarão os indivíduos menos vigorosos, por meio de maior atividade fisiológica (KRAMER; KOSLOWSKI, 1960), deixando as árvores menores em dap e diâmetro de copa com o crescimento mais restrito.

Takaoka (1993) relatou anéis ausentes em 26% das árvores amostradas em um povoamento de 46 anos de *Betula ermanii* Cham., no norte do Japão, revelando que aquelas árvores com anéis ausentes têm uma aparência característica, com tronco fino e menos folhagem de copa do que as árvores com crescimento normal que apresentaram todos os anéis.

O diâmetro da copa exerceu interferência na formação de anéis de crescimento. No entanto, quando foi avaliado o comprimento de copa, esse efeito não foi verificado. De acordo com Padoin e Finger (2010), estudando povoamentos de

Pinus taeda L., a competição pela luz se dá pelo plano horizontal e não vertical no povoamento, ou seja, o diâmetro de copa tem maior influência na competição pela luz do que a altura de copa.

Quanto à variável altura da árvore, era esperado que não apresentasse diferença entre os grupos quanto a frequência de anéis ausentes, uma vez que estando o povoamento em fase adulta, as árvores atingiram o seu máximo crescimento em altura, mesmo para as árvores de menor diâmetro atual. Conforme Schneider e Scheneider (2008) o excesso de densidade ou a competição, apresenta pouco efeito sobre o crescimento longitudinal das árvores, sendo a altura alcançada, em grande parte, determinada pela qualidade do sítio.

A taxa de crescimento em diâmetro é determinada pelo espaço de crescimento de que a árvore dispõe, sendo que o espaço de cada árvore é limitado pelas árvores vizinhas. O tamanho das árvores vizinhas foi considerado por Hiley (1959) e Potvin e Dutilleul (2009) como um dos fatores mais importantes para limitação do crescimento de árvores em um mesmo povoamento. A influência de árvores competidoras na frequência de anéis de crescimento ausentes em *Araucaria angustifolia* com 65 anos de idade mostrou que as árvores competidoras, exerceram influência no crescimento, formação ou estagnação dos anéis de crescimento, uma vez que o dap, distância, e área de copa de suas vizinhas, representadas por índices de competição, foram estatisticamente diferentes entre os grupos avaliados (TABELA 3.4).

TABELA 3.4 - MÉDIA DE VARIÁVEIS RELACIONADAS A ÁRVORES COMPETIDORAS POR GRUPOS CLASSIFICADOS DE ACORDO COM A QUANTIDADE DE ANÉIS AUSENTES NA ALTURA DE 1,30 m DE ALTURA DO SOLO

Grupo	Nº de anéis ausentes	diâmetro das competidoras (STAGE, 1973)	distância e diâmetro da maior competidora (MOORE <i>et al.</i> , 1973, adaptado)	distância e área de copa das competidoras (ALVAREZ TABOADA <i>et al.</i> , 2003)	área de sobreposição de copa e altura (EK E MONSERUD, 1974)
1	Nenhum	1,44 a	4,32 a	0,75 a	0,84 a
2	1	1,25 ab	3,80 ab	0,94 ab	1,10 a
3	2	0,86 ab	2,44 ab	1,71 ab	2,98 a
4	3 ou 4	0,76 b	2,10 ab	1,88 ab	2,62 a
5	≥ 5	0,75 b	1,44 b	2,07 b	2,35 a
F		6,39*	3,81*	4,42*	3,73 ^{ns}
CV%		36,02	63,89	67,25	89,72

Em que: * e ^{ns} significativo e não significativo a 95% de probabilidade pelo teste F, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

FONTE: O autor (2015)

Os índices de Stage (1973), Moore *et al.* (1973) adaptado e Alvarez Taboada *et al.* (2003) apresentaram diferenças entre árvores com todos os anéis (grupo 1) daquelas com 5 ou mais anéis ausentes (grupo 5).

O índice de competição de Stage (1973) relaciona o diâmetro da árvore objetivo com o diâmetro das árvores vizinhas, sendo que quanto maior o seu valor, menor é a competição sofrida e, portanto, menor a possibilidade de anéis ausentes, semelhante ao que indica o índice de Moore *et al.* (1973) adaptado. Por outro lado, a medida que o índice de competição de Alvarez Taboada *et al.* (2003) aumenta, reflete maior competição, uma vez que as áreas de copa e a distância das árvores vizinhas exercem maior interferência no crescimento da árvore objetivo, sendo então maior a possibilidade de ausência de anéis.

Apenas a variável área de sobreposição de copa entre a árvore objetivo e as árvores vizinhas juntamente com suas alturas quantificadas pelo índice de Ek e Monserud (1974) parecem não ter exercido interferência na falta de anéis de crescimento, provavelmente devido a presença da variável altura, que quando avaliada separadamente não apresentou relação com a formação de anéis.

3.4 INFLUÊNCIA DA AUSÊNCIA DE ANÉIS DE CRESCIMENTO E DA DATAÇÃO NA ANÁLISE DE CRESCIMENTO

Foi avaliado o incremento em diâmetro nos últimos 10 anos utilizando os discos à altura do dap (1,30 m do solo). Considerou-se e simulou-se o crescimento real e o uso da série de crescimento sem a datação para árvores nas classes 1, 2, 3 de diâmetro e regeneração, ou seja, sem considerar a existência de anéis ausentes, utilizando-se teste *t* para amostras dependentes, a 95% de probabilidade.

A porcentagem média de árvores com ausência de anéis de crescimento foi de 35% em árvores da maior classe de diâmetro (50-70 cm), 69% em árvores da classe média (30-50 cm), 83% em árvores da menor classe (10-30 cm) e 80% em árvores de regeneração. Na classe média houve árvore com até 10 anéis ausentes e na menor classe até 15 anéis ausentes. A maior parte dos anéis ausentes foi verificada nas épocas de maior competição, ou seja, mais recentemente, o que confirma o que

Lorimer *et al.* (1999) indicaram, de que a probabilidade de ausência de anéis aumenta progressivamente à medida que diminui a taxa de crescimento.

Na FIGURA 3.2 estão as médias dos incrementos em diâmetro nos últimos 10 anos (real) e a média dos incrementos em diâmetro quando se considera o último anel formado a 1,30 m de altura do solo como o incremento periódico anual da árvore, não sendo considerada a ausência de anéis à altura do dap (sem datação), para as árvores das três classes de diâmetro atual e da classe de regeneração.

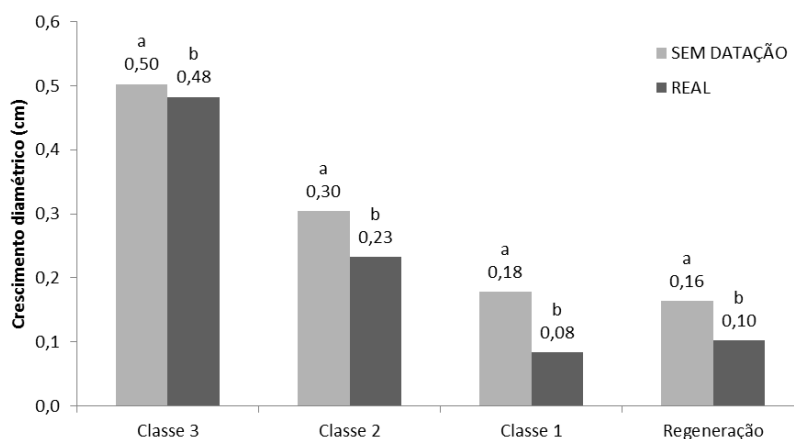


FIGURA 3.2 - MÉDIA DO INCREMENTO DIAMÉTRICO NOS ÚLTIMOS 10 ANOS (REAL), E QUANDO SE CONSIDERA O ÚLTIMO ANEL FORMADO A 1,30 m DE ALTURA DO SOLO COMO O INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL DA ÁRVORE (SEM DATAÇÃO) PARA DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL

Em que: médias seguidas de letras diferentes, em cada classe, diferem estatisticamente pelo teste *t* a 95% de probabilidade; Classes 1 (10-30 cm); 2 (30-50 cm); 3 (50-70 cm); e Regeneração (10-30 cm).

FONTE: O autor (2015)

Houve diferença significativa pelo teste *t* entre o crescimento real em diâmetro nos últimos 10 anos e o crescimento médio das 10 camadas de crescimento a partir da última camada formada à altura de 1,30 m, independente do seu ano de formação, para as classes 3 ($p = 0,026$), 2 ($p = 0,009$), 1 ($p = 0,022$) e regeneração ($p = 0,004$).

Árvores da menor classe de diâmetro atual (10-30 cm) apresentaram maiores diferenças entre o crescimento “real” e “sem datação”, uma vez que se encontrava com maior frequência de anéis ausentes. Esse resultado é consistente com os relatos de Turberville e Hough (1939), que observaram que, anéis ausentes são mais evidentes durante períodos prolongados de supressão e mais próximos ao nível do solo. Esses autores comentaram que a pior situação que encontraram foi em três árvores de um plantio no qual foram confirmados 28-46 anéis ausentes durante períodos de supressão, que durou cerca de 70 anos.

Parent *et al.* (2002) para *Abies balsamea* (L.) Mill., identificaram anéis ausentes em todas as 29 árvores suprimidas avaliadas, que estavam por mais de 10 anos sob um dossel fechado, sendo a ausência de anéis decorrentes da competição.

De acordo com Kramer e Koslowski (1960), quaisquer espécies de árvores que crescem em condições reprimidas podem cessar a produção de anéis de crescimento anuais na base do tronco. Assim, pode-se verificar que com a ausência de anéis de crescimento até mesmo árvores das maiores classes de diâmetro atual de *Araucaria angustifolia* no plantio em estudo, encontram-se em intensa competição.

A verificação de diferença entre os crescimentos “real” e “sem datação” para todas as classes avaliadas mostram a importância da datação cruzada entre amostras e a fragilidade da informação quando não se considera o ano real de formação de cada camada de crescimento.

Estudos de dendrocronologia e pesquisas com anéis ausentes são conduzidos geralmente com amostras obtidas a 1,30 m de altura (dap), no entanto, a datação cruzada nem sempre é realizada (RIVERA, 2007; VUADEN, 2013; CUNHA, 2013), podendo resultar em valores de incremento periódico anual superestimado. Esses estudos ignoram o fato de que a produtividade de câmbio pode variar bastante ao redor e ao longo do tronco (GRABNER; WIMMER, 2006), de modo que a árvore continua a crescer mesmo quando o incremento nas regiões basais torna-se estagnado.

Além da fragilidade da informação quando não se considera o ano real de formação de cada camada de crescimento, a falta de formação dos anéis de árvores, de acordo com discussão de Novak *et al.* (2011), quando resultante de distúrbios de longo prazo, podem levar a problemas fisiológicos associados ao transporte de água e redução da capacidade para o armazenamento de assimilados de reserva. Portanto, o crescimento reduzido refletido em aumento do número de anéis ausentes pode ser utilizado para prever iminente mortalidade de árvores em coníferas e, para esse fim, a dendrocronologia é uma técnica com grande potencial para diagnosticar declínio de crescimento das árvores antes que essas apresentem sinais visíveis de danos na copa.

3.5 VARIAÇÃO DO INCREMENTO RADIAL AO LONGO DO FUSTE

Na FIGURA 3.3 estão representados os valores de incremento expressos na forma percentual do incremento em diâmetro da posição “i” ao longo do tronco sobre o incremento na altura do dap a cada 10 anos e detalhamento para os últimos seis anos de desenvolvimento do povoamento, para diferentes alturas relativas de árvores. São apresentados dados de uma árvore de cada uma das que atualmente encontram-se nas classes de diâmetro atual 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm) e 3 (50-70 cm).

Sabendo-se que crescimento das árvores ao longo do fuste responde a diferentes pressões de competição durante o seu ciclo de crescimento, um padrão é observado quando as árvores seguem um mesmo comportamento ao longo da vida quanto à classe de diâmetro em que se encontram atualmente.

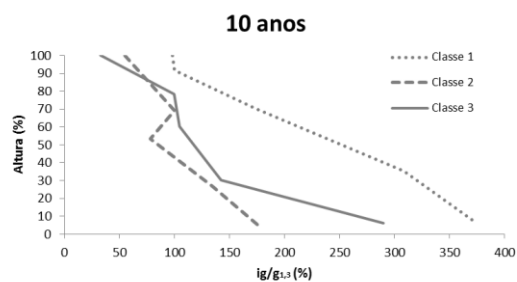
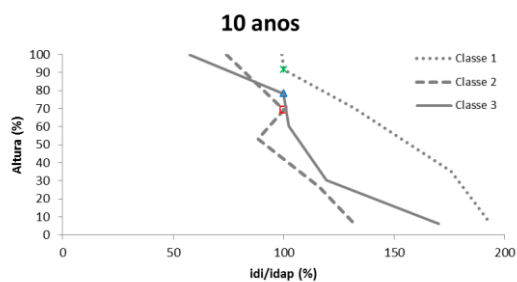
Observando a média do crescimento diamétrico nos primeiros 10 anos (FIGURA 3.3A) é possível notar que a árvore representativa da menor classe de diâmetro atual recém atingiu a altura do dap, uma vez que o incremento em diâmetro foi relativizado em função da altura do dap, enquanto que as árvores representativas das classes média e de maior diâmetro atual, já estavam com altura superior, o que já indica uma diferenciação no crescimento em altura nos primeiros anos do povoamento. O indicativo de árvores com desenvolvimento diferenciado no povoamento, ainda no início do desenvolvimento, mostra que intervenções de desbaste deveriam ter sido realizadas, possibilitando a liberação de espaço para as árvores mais competitivas. No entanto, deve-se ressaltar que as árvores que são menores hoje, não eram necessariamente as que apresentavam menor crescimento no passado.

De acordo com Assmann (1970), se for disponibilizado espaço livre para o crescimento, a tendência de maior crescimento radial nas partes inferiores do caule continua ao longo de toda a vida da árvore.

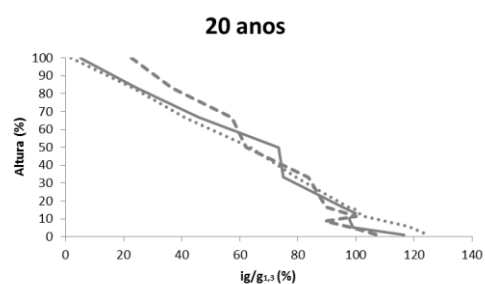
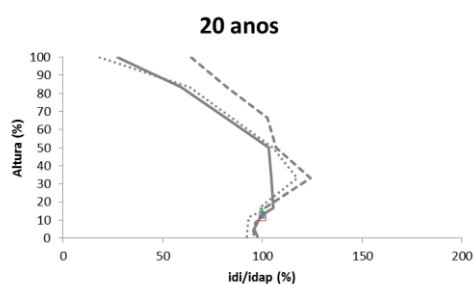
Largura dos anéis de crescimento

Área transversal

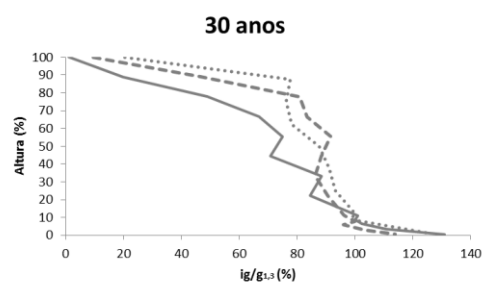
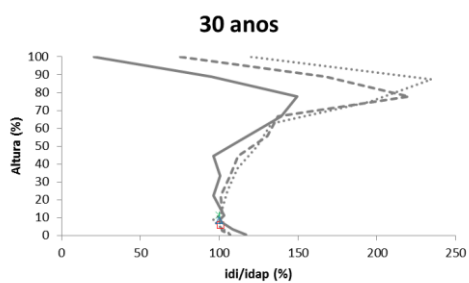
A



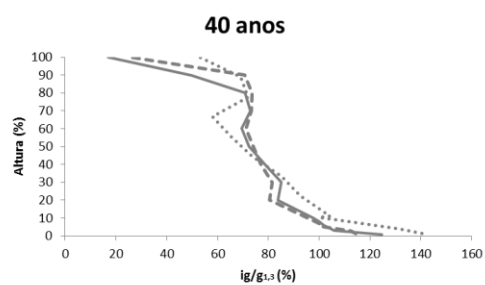
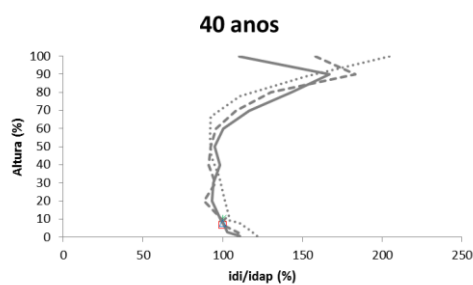
B



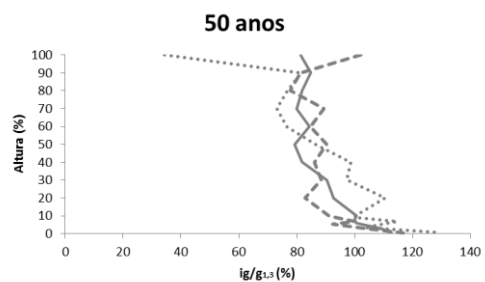
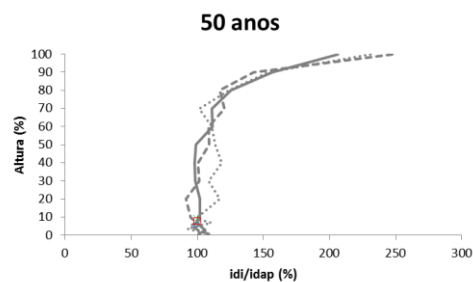
C



D



E



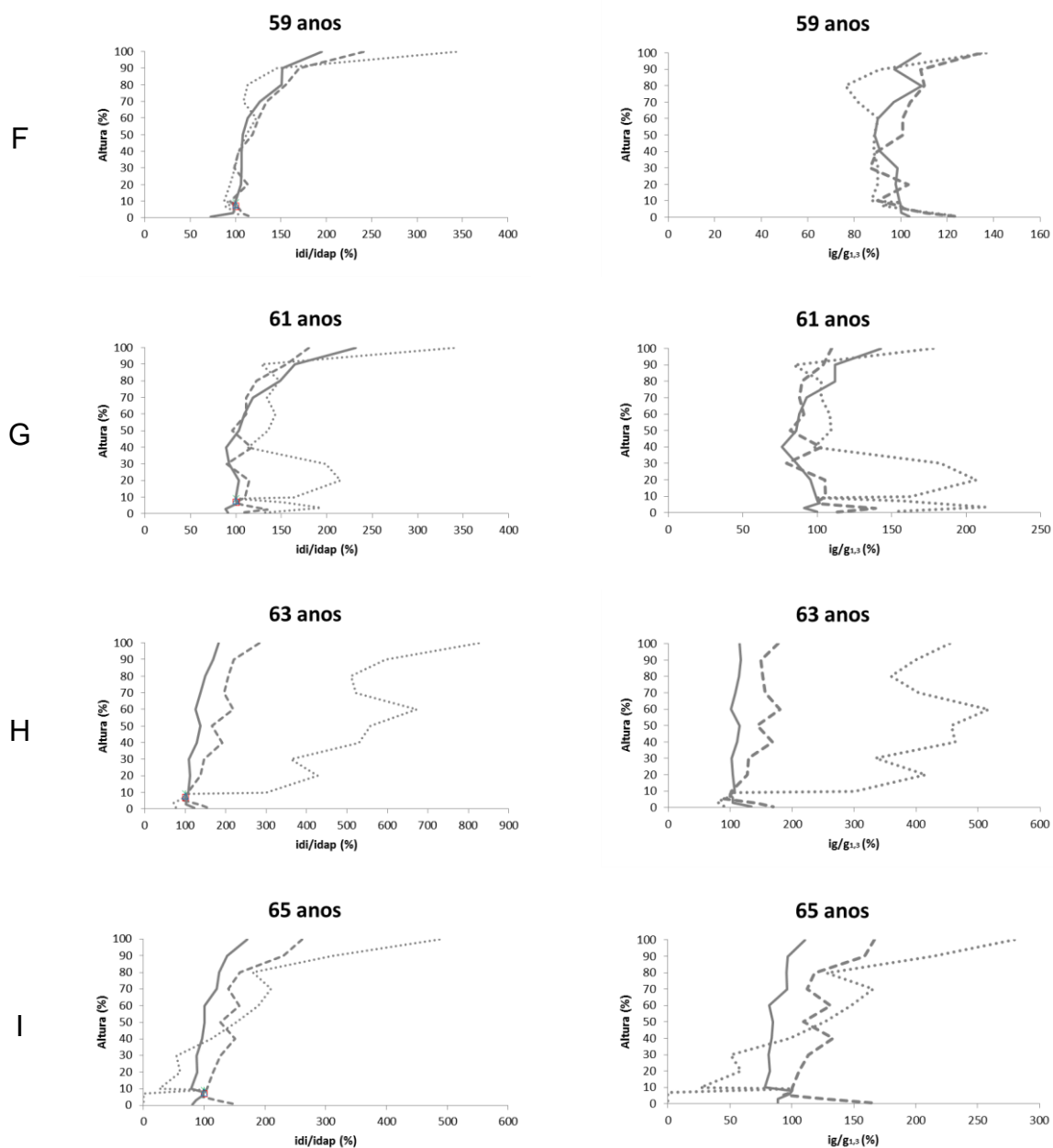


FIGURA 3.3 - PERFIL DO TRONCO DE *Araucaria angustifolia* AO LONGO DO TEMPO PARA AS CLASSES DE DIÂMETRO 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm) E 3 (50-70 cm)
 FONTE: O autor (2015)

A figura pode dar a impressão equivocada de que a árvore da menor classe de diâmetro atual está com crescimento maior que as demais (FIGURA 3.3A), pois o diâmetro na base da árvore está maior que o das árvores das demais classes. No entanto, a proporção é maior uma vez que o incremento no dap foi muito reduzido para a árvore de menor diâmetro atual (praticamente não havia crescimento à altura do dap).

Entre os 10 e 20 anos (FIGURA 3.3B), para as árvores das classes 1 e 2, menor e média, já se observa desvio de crescimento após a altura do dap, com maior incremento diamétrico, resultando de maior competição para essas árvores quando comparada à árvore representativa da classe de maior diâmetro. Observando este mesmo período em termos de área transversal acumulada, nota-se que o comportamento das árvores nas diferentes classes, ainda é semelhante, tendo característica de copas em plena luz, uma vez que as curvas estão inclinadas, seguindo uma mesma tendência.

No período entre 20 e 30 anos (FIGURA 3.3C) nota-se aumento do incremento diamétrico em partes mais altas do fuste, ocorrendo até mesmo para a árvore maior, no entanto em menor proporção do que para as árvores das duas menores classes. Além disso, o maior crescimento diamétrico acima do dap para as árvores das classes menor (10-30 cm) e média (30-50 cm) se deu a partir de 20% da altura, enquanto que para a árvore da maior classe (50-70 cm) este crescimento diamétrico superior ao do dap se deu na altura de 50%, sugerindo assim, alta competição para todas as árvores, especialmente para as de menor classe. Avaliando o incremento em área transversal dessas últimas duas décadas, é possível notar que as curvas passam de uma situação mais inclinada, tendendo para mais verticais, caracterizando a mudança da forma do tronco, de cônicas tendendo a mais cilíndricas, resultante do maior incremento no topo do que na base em decorrência da competição.

Assmann (1970) baseando-se na explicação de Topcuoglu (1940)¹⁸ sobre o aumento do incremento na região da copa verificou que a quantidade de produtos assimilados nas partes basais das árvores sob competição é reduzida, revelando a influência descendente de materiais fotossintetizados da copa para a base sobre a deposição anual de lenho no tronco das árvores, devido à redução na concentração de seiva no floema a partir da base da copa em direção às posições inferiores do fuste.

Entre os 30 e 40 anos (FIGURA 3.3D), com relação ao acúmulo de área transversal nota-se os troncos cada vez mais cilíndricos, com maior formação de lenho nas partes superiores, e a partir de 60% de altura, as árvores apresentam anéis de crescimento mais largos que os anéis do dap. Nessa idade, há indicativos de que o povoamento, já se encontrava superestocado, pelos desvios de crescimento na parte superior das árvores, observado para as três árvores representadas. Neste período é

¹⁸ TOPCUOGLU. *Tharandter Forstliches Jahrbuch*, v. 91, 485 p., 1940.

possível notar que o incremento diamétrico diminui da base do tronco para a posição de aproximadamente 10% da altura, voltando a aumentar novamente na região próxima à copa.

Esse resultado está de acordo com as observações de Von Guttenberg (1915)¹⁹, Topcuoglu (1940) e Assmann (1970), de que a largura do anel de crescimento em árvores situadas no interior do povoamento diminui da base do tronco até atingir um valor mínimo de incremento, de onde aumenta até regiões no interior da copa. A altura em que se dá esse incremento mínimo varia de acordo com a classe sociológica da árvore, porém, de maneira geral, ocorre em torno de 21% da altura total (ASSMANN, 1970), conforme também observado no presente trabalho, sendo mais evidente quando se avalia o comportamento aos 40 anos.

Nos 20 anos posteriores (FIGURA 3.3E e F) as árvores apresentaram comportamento semelhante ao observado até aos 40 anos, com maior evidência de alargamento dos anéis de crescimento e aumento da sua área transversal em relação ao dap nas partes mais altas da árvore. O deslocamento acentuado da curva para a direita atingiu valores superiores a 200%, confirmando as afirmações de Von Guttenberg (1915, citado por ASSMANN, 1970), o qual relatou que árvores sujeitas ao efeito intenso da concorrência tendem a depositar maiores incrementos na região superior do fuste, tendendo a uma forma mais cilíndrica. Ainda nesse período, é possível notar com base na área transversal, maior verticalidade das curvas.

A distribuição de incrementos sobre o tronco apresentada pelas árvores nas diferentes classes de diâmetro atual explica de forma clara a forma geométrica (cilíndrica) apresentada pelos fustes na condição de um povoamento em alta competição. No entanto, em condições de menos competição, em trabalhos realizados com *Pinus taeda* por Andrade *et al.* (2007) e com *Picea abies* (L.) Karst. por Assmann (1970), a forma geométrica tende a ser mais cilíndrica para fustes de árvores dominadas, enquanto árvores dominantes tem fuste com forma mais cônica.

Em povoamentos fechados, as árvores dominadas, com o tempo, vão sendo sombreadas e podem ser cobertas pelas copas de suas vizinhas, e o aumento progressivo dessa competição provoca redução no tamanho de sua copa e na eficiência dos ramos, o que resulta em declínios na produção de madeira, assim como

¹⁹ GUTTENBERG, A. V. *Österreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen*, v. 33, 217 p., 1915.; GUTTENBERG, A. V. *Wachstum u. Ertrag. d. Fichte i. Hochgebirge* (Vienna and Leipzig), 1915.

em mudanças na distribuição do crescimento ao longo do fuste e na largura dos anéis de crescimento (LARSON, 1963).

No detalhamento para avaliar o comportamento nos últimos anos (média de cada dois últimos anos - FIGURAS 3.3G, H e I), nota-se que a árvore da maior classe de diâmetro recupera ao longo do seu ciclo de desenvolvimento um padrão de crescimento mais regular e a árvore da menor classe apresenta distorções muito evidentes de crescimento ao longo do fuste, indicando variações mais evidentes em função da pressão sofrida em decorrência da alta competição.

De acordo com Larson (1963), modificações na classe sociológica geralmente são acompanhadas por alterações na qualidade da madeira em conformidade com as alterações no desenvolvimento da copa e forma do fuste. Com exceção da supressão extrema, as árvores das classes inferiores dos estratos, normalmente possuem porcentagem de lenho tardio maior e, portanto, uma madeira mais densa do que aquelas dos estratos superiores do mesmo povoamento.

A realização do desbaste pesado, com aumento de espaço livre para árvores adultas, causa alterações características da distribuição de incremento sobre o tronco da árvore, sendo o incremento inevitavelmente deslocado para a parte inferior do fuste (ASSMANN, 1970). No entanto, não foi possível perceber pela forma das curvas, indicativos do efeito do desbaste realizado no povoamento entre 25 e 35 anos. Resultado positivo é esperado após desbaste. Porém, a resposta pode variar de acordo com vários fatores, como porte das árvores, competição, qualidade de sítio, entre outros (FICHTNER *et al.*, 2012).

Características da copa de árvores indicam o grau de competição sofrido por essas árvores no passado. No entanto, devido a interferências ocorridas em povoamentos florestais, como desbastes, mortalidade natural e até queda e/ou quebra de galhos de árvores vizinhas, a classe de tamanho de uma árvore pode ser alterada ao longo de sua vida.

3.6 DINÂMICA DOS DIÂMETROS DE ÁRVORES AO LONGO DO TEMPO

Visando mostrar as diferenças de comportamento ao longo da vida de árvores, foi realizada uma análise retrospectiva da variação diamétrica das árvores de

acordo com a classe de diâmetro em que se encontram nas condições atuais do povoamento, sendo verificados os diâmetros atingidos em diferentes idades para cada uma das 36 árvores originárias do plantio (FIGURA 3.4), sendo, portanto, descartadas as 10 árvores oriundas de regeneração, já que não representam a mesma idade das demais.

Mudanças nas classes de tamanho foram verificadas, apesar de um padrão ter sido mantido para muitas das árvores. A partir dos 50 anos é possível notar uma estabilização das classes de acordo como se encontram atualmente.

Observa-se que as classes atuais de algumas árvores não foram definidas desde os anos iniciais do povoamento. Nos primeiros 10 anos, nota-se, por exemplo, que a árvore 1, atualmente na menor classe de diâmetro do povoamento, possuía crescimento semelhante e até maior que algumas árvores que atualmente estão na maior classe de diâmetro (50-70 cm). No entanto, deve-se ressaltar que em um povoamento com 10 anos não existe diferenciação entre classes.

A árvore 35 apresentava crescimento entre os menores valores e apresentou recuperação do crescimento apesar de não ter ultrapassado a classe média. Essa possível mudança de classe não foi tão expressiva. Um exemplo de recuperação de crescimento pode ser observado na árvore 17. Essa apresentava crescimento semelhante ao de árvores médias no início do povoamento e atualmente está entre as de maiores diâmetros. Com a árvore 40 ocorreu o contrário, pois iniciou com crescimento médio a alto, reduzindo muito ao longo de sua vida.

		10 anos	20 anos	30 anos	40 anos	50 anos	59 anos	61 anos	63 anos	65 anos
C r e s c i m e n t o d i â m é t r i c o (cm)		7	7	7	7	7	7	7	7	7
		32	20	20	20	32	32	20	20	20
		35	3	32	32	20	20	32	3	3
		2	32	12	12	1	3	3	32	32
		44	10	1	1	3	1	1	1	1
		12	35	2	3	12	12	12	12	12
		20	12	3	2	2	2	2	2	2
		3	44	16	10	21	40	40	40	40
		10	2	10	35	40	21	21	10	10
		16	1	35	21	35	10	10	21	21
		17	16	44	16	10	35	35	35	35
		19	17	17	44	26	26	26	26	26
		28	21	21	40	44	8	8	8	8
		1	13	13	26	8	44	44	44	44
		23	37	40	13	39	24	24	24	13
		45	26	26	8	16	39	39	39	24
		39	19	37	39	13	16	13	13	39
		24	28	39	17	24	13	16	16	11
		33	24	8	37	37	37	11	11	16
		26	38	19	24	25	11	37	37	25
		37	39	24	19	19	25	25	25	37
		13	34	15	25	11	34	34	34	34
		38	15	38	11	38	19	19	19	19
		34	11	11	38	17	38	38	38	45
		21	8	25	34	34	45	45	36	38
		15	40	28	15	36	17	36	45	36
		25	45	34	36	15	36	17	17	9
		18	25	36	18	45	9	9	9	17
		11	23	18	28	9	15	15	23	23
		9	18	23	45	23	23	23	15	15
		8	9	45	9	18	18	18	18	18
		40	36	9	23	28	28	42	42	42
		42	33	14	33	42	42	28	28	28
		46	14	33	14	33	33	33	33	33
		36	46	46	46	46	46	46	46	46
		14	42	42	42	14	14	14	14	14

FIGURA 3.4 - POSICIONAMENTO DAS ÁRVORES DE *Araucaria angustifolia* DE ACORDO COM O DAP ACUMULADO AO LONGO DO TEMPO PARA AS CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm) E 3 (50-70 cm)

Em que: os números representam o número atribuído à árvore na amostragem. Árvores nas cores cinza escuro, branco e cinza claro representam respectivamente as classes de diâmetro 1, 2 e 3 nas condições atuais do povoamento.

FONTE: O autor (2015)

No povoamento em estudo, há registro de um desbaste entre 1970 e 1980, no entanto, não se sabe qual a intensidade adotada e como ocorreu a intervenção.

As árvores de número 1 e 40 claramente sofreram com a concorrência. Pode ser verificado na evolução de 10 a 40 anos, que essas árvores não foram favorecidas com a realização de desbaste que ocorreu em torno dos 30 anos. A árvore 17 parece ter sido favorecida pela execução do desbaste, uma vez que aumentou consideravelmente seu dap entre os 30 e 40 anos, resultando em maiores diâmetros nos anos posteriores, atingindo assim a maior classe de diâmetro.

A árvore 35 evoluiu o crescimento ao longo dos anos, mas não necessariamente pode ser dito que foi favorecimento devido ao desbaste, uma vez que aparentemente a recuperação do crescimento se deu antes de sua ocorrência, pois o aumento do diâmetro foi expressivo entre os 10 e 30 anos, o que pode ser resultado de superação da concorrência ou reflexo de aumento do espaço vital por quebra ou morte de árvores vizinhas.

Apesar do indicativo de reação ao desbaste, sugere-se que estudos voltados ao efeito de desbastes no crescimento de povoamentos de *Araucaria angustifolia* sejam implantados, buscando identificar os momentos adequados de interferências silviculturais nos plantios dessa espécie, e recuperar a capacidade produtiva de povoamentos estagnados, sob alta competição, ou na condução de povoamentos, bem como potencializar a capacidade de crescimento ao longo da vida de árvores.

4 CONCLUSÕES

As variáveis dap e diâmetro de copa das árvores objetivo, bem como o dap, distância e área de copa das árvores competidoras exercem influência na frequência de anéis de crescimento ausentes nas regiões basais das árvores.

Quando a datação cruzada é desconsiderada, valores superestimados de crescimento são observados em árvores de diferentes classes de diâmetro com anéis ausentes detectados, mostrando ser imprescindível a datação cruzada entre séries e a definição do ano real de formação de cada camada de crescimento.

Árvores de maiores diâmetros de povoamentos superestocados também apresentam sinais de crescimento reduzido devido ao efeito da competição.

Pode haver diferenciação do padrão de crescimento ao longo da vida de árvores, decorrente de superação da competição e intervenções de desbaste. No entanto, não é possível prever a resposta de árvores sob condições de alta competição por um longo período.

5 RECOMENDAÇÕES

No povoamento em estudo, é evidente a condição de alta competição, sendo sugerida a condução de desbaste. Nesse desbaste, sugere-se que todas as árvores de menores diâmetros sejam removidas, pois dificilmente irão recuperar o crescimento após um desbaste tardio, devendo-se priorizar como árvores remanescentes aquelas de maiores diâmetros e também todas as árvores representantes da classe intermediária do povoamento, pois estas teriam maior potencial de recuperação do crescimento. É importante destacar que as árvores de maiores diâmetros, por terem atingido diâmetro comercial para fins mais nobres, poderiam ser removidas, de modo a gerar maior contribuição de entrada no fluxo de caixa, anterior ao corte final do povoamento.

O entendimento da dinâmica de crescimento em um povoamento superestocado de *Araucaria angustifolia* poderá ser complementado com monitoramento da resposta de alterações de tamanho de copa e fuste nas árvores remanescentes após um novo desbaste neste povoamento em estudo.

REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ TABOADA, M. F.; ANTA, M. B.; VARELA, J.G.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G. Influencia de la competencia en el crecimiento en sección en *Pinus radiata* D. Don. **Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.**, v. 12, n. 2, p. 25-35, 2003.
- ANDRADE, C. M.; FINGER, C. A. G.; THOMAS, C.; SCHNEIDER, P. R. Variação do incremento anual ao longo do fuste de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e densidades populacionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 239-246, 2007.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- CARVALHO, P. E. R. *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze: pinheiro-do-paraná. In: CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ; Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994, p. 70-78.
- CHERUBINI, P.; FONTANA, G.; RIGLING, D.; DOBBERTIN, M.; BRANG, P. INNES, J.L. Tree-life history prior to death: two fungal root pathogens affect tree-ring growth differently. **Journal of Ecology**, v. 90, p. 839-850, 2002.
- CHOWDHURY, M. Q.; SCHMITZ, N.; VERHEYDEN, A.; SASS-KLAASSEN, U.; KOEDAM, N.; BEECKMAN, H. Nature and periodicity of growth rings in two Bangladeshi mangrove species. **IAWA Journal**, v. 29, n. 3, p. 265-276, 2008.
- CUNHA, T. A. **Crescimento de espécies florestais madeiráveis como subsídio para o manejo florestal na Amazônia ocidental**. 105 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149, 2001.
- EK, A. R.; MONSERUD, R. A. Trials with program FOREST: Growth and reproduction simulation for mixed species even and or uneven-aged forest stands. In: FRIES, J. **Growth models for tree and stand simulation**. Stockholm Sweden: Royal College of Forestry, 1974. p. 56-73.
- FICHTNER, A.; STURM, K.; RICKERT, C.; HÄRDTLE, W.; SCHRAUTZER, J. Competition response of European beech *Fagus sylvatica* L. varies with tree size and abiotic stress: minimizing anthropogenic disturbances in forests. **Journal of Applied Ecology**, v. 49, p. 1306-1315, 2012.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; KOHLER, S. V.; VERUSSA, A. A.; CHIQUETTO, A. L. Evolution of the hypsometric relationship in *Araucaria angustifolia* plantations in the mid-south region of Paraná state. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 3, p. 347-357, 2010.

GRABNER, M.; WIMMER, R. Variation of different tree-ring parameters in samples from each terminal shoot of a Norway spruce tree. **Dendrochronologia**, v. 23, p.111-120, 2006.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 7-22, 2009.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três locais do Rio Grande do Sul. **Ambiência**, Guarapuava, v. 5, n. 2, p. 213-232, 2009.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento em volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. em três regiões do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 107-122, 2010.

HESS, A. F.; CALGAROTTO, A. R.; PINHEIRO, R.; WANGINIAC, T. C. R. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no Município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 337-345, 2010.

HILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London: Faber and Faber, 1959. 123 p.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin**, v. 43, p. 69-78, 1983.

KRAMER, P. J.; KOSLOWSKI T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 745 p.

KRUMM, F.; KULAKOWSKI, D.; RISCH, A.C.; SPIECKER, H.; BRÄNDLI, U. B.; BEBI, P. Stem exclusion and mortality in unmanaged subalpine forests of the Swiss Alps. **European Journal of Forest Research**, v. 131, p. 1571-1583, 2012.

LARSON, P. R. Evaluating the environment for studies of the inheritance of wood properties. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST AND TREE IMPROVEMENT, 1., 1963, Stockholm. **Proceedings...** Rome: FAO, 1963. p. 1-6.

LORIMER, C. G.; DAHIR, S. E.; SINGER, M. T. Frequency of partial and missing rings in *Acer saccharum* in relation to canopy position and growth rate. **Plant Ecology**, v. 143, p. 189-202, 1999.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TEO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 5-16, 2008.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 418 p.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do município de Candói, PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 153-156, 2007a. Nota científica.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Crescimento de *Araucaria angustifolia* na Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 55, p. 107-114, 2007b. Nota científica.

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; BERNDT, E. J.; OLIVEIRA, Y. M. M. **Equação de volume para araucárias centenárias da Reserva Florestal Embrapa/Epagri**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010a. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 256).

MATTOS, P. P.; OLIVEIRA, M. F.; AGUSTINI, A. F.; BRAZ, E. M.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Aceleração do crescimento em diâmetro de espécies da Floresta Ombrófila Mista nos últimos 90 anos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 319-326, 2010b.

MOORE, J. A.; BUDELSKY, C. A.; SCHLESINGER, R. C. A New Index Representing Individual Tree Competitive Status. **Canadian Journal Forest Research**, v. 3, n. 4, p. 495-500, 1973.

NICOLINI, G.; TARCHIANI, V.; SAURER, M.; CHERUBINI, P. Wood-growth zones in *Acacia seyal* Delile in the Keita Valley, Niger: Is there any climatic signal?. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p. 355-359, 2010.

NOVAK, K.; LUIS, M.; CUFAR K.; RAVENTÓS J. Frequency and variability of missing tree rings along the stems of *Pinus halepensis* and *Pinus pinea* from a semiarid site in SE Spain. **Journal of Arid Environments**, v. 75, p. 494-498, 2011.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 9-25, 2001.

NUTTO, L.; SPATHELF, P. Modelagem da desrama natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 295-309, 2003.

OLIVEIRA, J. M.; SANTAROSA, E.; PILLAR, V. D.; ROIG, F. A. Seasonal cambium activity in the subtropical rain forest tree *Araucaria angustifolia*. **Trees**, v. 23, p. 107-115, 2009.

OLIVEIRA, M. F.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C.; SANTOS, W. C. **Equação de volume para um plantio de *Araucaria angustifolia* em Rio Negro, PR**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 275).

OPTIMBER - Otimização e Informática. **FlorExel - Funções florestais desenvolvidas para o Microsoft Excel**. Versão 3.14.31. Curitiba, Paraná, Brasil, 2014.

PADOIN, V.; FINGER, C. A. G. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 95-105, 2010.

PARENT, S.; MORIN, H.; MESSIER, C. Missing growth rings at the trunk base in suppressed balsam fir saplings. **Canadian Journal Forest Research**. v. 32, p.1776-1783, 2002.

PLAUBORG, K. U. Analysis of radial growth responses to changes in stand density for four tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 188, p. 65-75, 2004.

POTVIN, C.; DUTILLEUL, P. Neighborhood effects and size-asymmetric competition in a tree plantation varying in diversity. **Ecological Society of America**, v. 90, n. 2, p. 321-327, 2009.

POUSSART, P. F.; EVANS, M. N.; SCHRAG, D. P. Resolving seasonality in tropical trees: multi-decade, high-resolution oxygen and carbon isotope records from Indonesia and Thailand. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 218, n. 3/4; p. 301-316, 2004.

RAVENTÓS, J.; DE LUÍS, M.; GRAS, M. J.; CUFAR, K.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C. BONET, A.; SÁNCHEZ, J. R. Growth of *Pinus pinea* and *Pinus halepensis* as affected by dryness, marine spray and land use changes in a Mediterranean semiarid ecosystem. **Dendrochronologia**, v. 19, n. 2, p. 211-220, 2001.

RINN, F. **TSAP, version 3.0, reference manual**: computer program for tree ring analysis and presentation. Heidelberg: Dipl.- Phys., 1996. 263 p.

RIVERA, H. **Ordenamento territorial de áreas florestais utilizando avaliação multicritério apoiada por geoprocessamento, fitossociologia e análise multivariada**. 257 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SCHEEREN, L. W.; FINGER, C. A. G.; SCHUMACHER, M. V.; LONGHI, S. J. Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em três sítios naturais, na região de Canela - RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 23-40, 1999.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2ª ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SEITZ, R. A.; KANNINEN, M. Tree ring analysis of *Araucaria angustifolia* in Southern Brazil: preliminary results. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 2, p. 170-174, 1989.

STAGE, A. R. **Prognosis model for stand development**. USDA Forest Service: Research Paper INT-137. June, 1973.

TAKAOKA, S. The effect of missing rings on stand-age estimation of even-aged forests in northern Hokkaido, Japan. **Ecological Research**. v. 8, p. 341-347, 1993.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n.3, p. 319-327, 2006.

TURBERVILLE, H. W.; HOUGH, A. F. Errors in age counts of suppressed trees. **Journal of Forestry**, v. 37, n. 5; p. 417-418, 1939.

VUADEN, E. **Morfometria e incremento de *Cordia trichotoma* (Vell.) livre e sob competição na região central do Rio Grande do Sul**. 101 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G. Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 467-476, 2010.

CAPÍTULO IV

MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA EM ÁRVORES DE UM POVOAMENTO SUPERESTOCADO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

RESUMO

O objetivo do presente capítulo foi avaliar as variações radiais e longitudinais de massa específica básica da madeira em um plantio superestocado de *Araucaria angustifolia*, com 65 anos, visando verificar as influências de competição e desbaste ocorridas no passado. O plantio, localizado na Floresta Nacional de Açungui, Campo Largo, PR, foi desbastado entre 1970 e 1980, não havendo registros de desbastes posteriores a essa data. Foram selecionadas três árvores para cada classe de diâmetro: 10-30 cm, 30-50 cm e 50-70 cm. Para a análise longitudinal, foram seccionados discos em sete alturas (0, 20, 40, 60, 80 e 100% da altura total e a 1,3 m), sendo removidas as cascas, retiradas duas cunhas opostas até a medula. Para verificar as variações radiais, foram retirados cinco corpos de prova no sentido radial de cada disco. Em geral, na direção radial houve aumento da massa específica. As médias da massa específica ao longo do fuste foram estatisticamente iguais entre as três classes de diâmetro consideradas. As médias diferiram estatisticamente ao longo do fuste, havendo tendência de diminuição da massa específica na direção longitudinal. Porém, observou-se que a 60% da altura comercial a massa específica foi maior do que a 40%, sugerindo que esse efeito esteja relacionado ao desbaste que ocorreu na área. A desuniformidade da madeira ao longo do fuste é um indicativo dos efeitos negativos da falta de manejo na área.

Palavras-chave: qualidade da madeira; variações radial e longitudinal; competição; desbaste.

CHAPTER IV

WOOD DENSITY OF TREES IN UNMANAGED STAND OF *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

ABSTRACT

The aim of this chapter was to evaluate the radial and longitudinal variations of wood specific gravity in an overstocked stand of *Araucaria angustifolia*, with 65 years, to verify the influences of competition and thinning interventions occurred in the past. The plantation, located in the National Forest of Açungui, Campo Largo, Parana State, Brazil, with thinning recorded between 1970 and 1980, without subsequent thinning records. It were selected three trees for each diameter class: 10-30 cm, 30-50 cm and 50-70 cm. To the longitudinal analysis, it were collected discs from seven heights (0, 20, 40, 60, 80 and 100% of commercial stem and at 1.3 m). The barks were removed and it was obtained opposite wedges until the pith. To determine radial variation, five samples were taken in the radial direction from each disk. The average of wood specific gravity along the stem was similar statistically for the three diameter classes considered. In general, there was an increase of wood specific gravity in the radial direction. The average differed significantly along the stem, with decreasing trend of wood specific gravity in the longitudinal direction. However, it was observed that at 60% of commercial height the average of wood specific gravity was higher than at 40%, suggesting that this effect is related to the thinning that occurred in the area. The nonuniform wood along stem indicates negative effects of the lack of management in the stand.

Keywords: quality of wood; radial and longitudinal variations; competition; thinning.

1 INTRODUÇÃO

Vários fatores influenciam a adequação da madeira para os mais diversos usos. No entanto, a massa específica básica da madeira é considerada por muitos pesquisadores como o mais importante atributo de qualidade da madeira, por estar relacionada com muitas propriedades, incluindo a resistência, rigidez e estabilidade dimensional (PANSIN; DE ZEEUW, 1970; BURGER; RICHTER, 1991; LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000; SILVA *et al.*, 2004; JYSKE *et al.*, 2008). Além disso, a determinação da massa específica básica é uma maneira simples e prática de expressar a qualidade da madeira.

Variações na massa específica da madeira, afetando o seu desenvolvimento e qualidade, são devidas a diferenças na estrutura e a presença de constituintes estranhos. Tendências hereditárias, influências fisiológicas e mecânicas, bem como fatores ambientais e tratamentos silviculturais afetam a estrutura da madeira e, portanto, sua massa específica (KOLLMANN; CÔTÉ JÚNIOR, 1968; PANSIN; DE ZEEUW, 1970).

De acordo com Larson *et al.* (2001), para o entendimento da variabilidade na qualidade da madeira, é preciso entender o processo que os fisiologistas referem-se como controle de copa, relacionados pelo tamanho, distribuição e eficiência dos órgãos foliares, uma vez que toda a madeira é produzida pelo câmbio, que é uma zona ou camada de células divisoras localizadas entre a madeira e a casca interna, e que a divisão de células pelo câmbio e a diferenciação das células é regulada por processos fisiológicos originados nos órgãos foliares da copa da árvore.

Uma vez que o início da atividade cambial, ou início da estação de crescimento coincide com a eclosão dos novos brotos e seu crescimento, produzindo lenho inicial, e a transição para o lenho tardio coincide aproximadamente com a cessação do crescimento dos brotos terminais e redução da umidade do solo (LARSON *et al.*, 2001), os padrões de distribuição, bem como os gradientes de massa específica da madeira, estão em conformidade com os padrões sazonais de desenvolvimento da copa, atribuídas às mudanças no seu tamanho e distribuição no fuste (LARSON, 1963).

Examinando como o desenvolvimento da copa influencia a formação da madeira, torna-se claro que mudanças nas condições de crescimento podem afetar

esta relação. Dessa forma, as condições do plantio e práticas silviculturais podem influenciar significativamente a qualidade da madeira por alterações na relação copa-fuste (LARSON *et al.*, 2001).

A maioria dos problemas que ocorrem com a qualidade da madeira é oriundo de algumas características do lenho juvenil, ou seja, baixa massa específica, baixa resistência e a propensão de uma contração mais acentuada (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000), além da ocorrência de defeitos, tais como os nós, que prejudicam as propriedades físicas e mecânicas da madeira, e que podem ser reduzidos com a indução de desrama natural ou a utilização da desrama artificial (SCHILLING *et al.*, 1998).

À medida que os povoamentos se fecham e a competição natural é iniciada, os ramos mais baixos começam a morrer e um fuste progressivamente mais livre de galhos é produzido, de forma que a copa viva se afasta da base, o que resulta em declínios na produção de madeira, assim como mudanças na distribuição do crescimento ao longo do fuste e nos teores de lenho tardio dentro dos anéis, sendo fator determinante no tipo de madeira formada no fuste (LARSON, 1963).

Assim, o impacto que o desbaste exerce no desenvolvimento da copa e na taxa de crescimento pode ter um efeito significativo sobre a formação de madeira (MALAN, 1995). Dessa forma a redução da taxa de crescimento inicial, por meio do controle da densidade inicial da população e programação de desbastes, pode resultar em uma menor proporção de madeira juvenil em favor de um aumento posterior da massa específica (HANS *et al.*, 1972).

Devido às variações de estrutura e propriedades existentes na madeira juvenil e adulta, diversos problemas ou inconvenientes podem surgir durante o processo de industrialização e transformação da madeira em outros produtos, sendo o desempenho julgado pela qualidade em função do uso a que foi destinada (JANKOWSKY, 1979; PALERMO *et al.*, 2013).

Essas variações podem ser radial, a partir da medula para o câmbio, axial, da base do caule para o topo, e são afetadas pela largura dos anéis anuais ou a percentagem de madeira juvenil (KOLLMANN; CÔTÉ JÚNIOR, 1968) e variação intra-anel (PANSIN; DE ZEEUW, 1970). O grau de variação da massa específica pode servir como parâmetro para separar a madeira em classes de qualidade em função da parte da árvore em que é retirada.

Com relação às variações da massa específica básica para coníferas, em geral ocorre aumento da medula para a casca, e diminuição com a elevação da altura no tronco (ELLIOTT, 1970).

Existe bom conhecimento de como os órgãos foliares controlam a formação da madeira no fuste e, se a história do plantio é conhecida, é possível explicar com alto grau de confiança como a qualidade da madeira foi afetada pelas condições de crescimento passadas. Entretanto, devido à complexidade dos fatores que interagem, os níveis de confiança para predição de valores da qualidade da madeira bem como nas mudanças desses valores é bastante diminuída (LARSON *et al.*, 2001).

O objetivo desta pesquisa foi avaliar entre árvores de diferentes classes de diâmetro, as variações radiais e longitudinais de massa específica básica da madeira em um plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., visando verificar prováveis influências de competição e de intervenções de desbaste ocorridas no passado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS

O trabalho foi desenvolvido em um plantio de *Araucaria angustifolia*, estabelecido em 1946, na Floresta Nacional de Açungui, localizada no município de Campo Largo, PR, ocupando uma área de aproximadamente 131 hectares, com registro de desbaste realizado entre 1970 a 1980. Atualmente, com 68 anos, o povoamento encontra-se sob intensa competição, visto que a última intervenção ocorreu a mais de 30 anos.

Foram selecionadas e derrubadas (SISBIO 35355-1) árvores representando as classes de diâmetro atual de 10-30 cm (Classe 1), de 30-50 cm (Classe 2) e de 50-70 cm (Classe 3), sendo coletadas amostras de três árvores por classe.

2.2 PREPARO DAS AMOSTRAS

Para a determinação da variação radial da massa específica da madeira, em diferentes alturas, de cada árvore foram seccionados discos em sete diferentes alturas, sendo elas a 0,10 m, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da altura comercial, e a 1,30 m de altura do solo.

De cada disco coletado para determinação da massa específica básica, foram removidas as cascas, retiradas cunhas opostas (A e B), até a medula, e cinco corpos de prova no sentido radial, abrangendo da medula à casca em todos os discos, de acordo com a distância desde a medula até o último anel antes de atingir a casca, conforme apresentado na FIGURA 4.1.

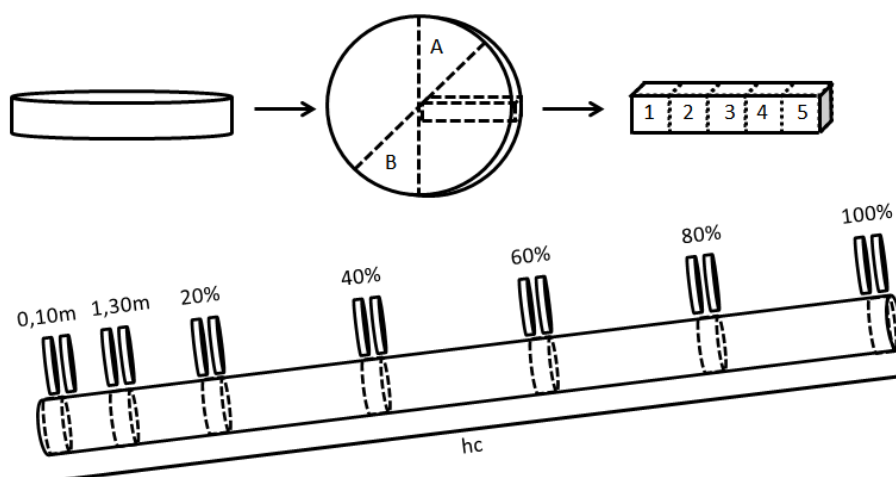


FIGURA 4.1 - SECCIONAMENTO DO FUSTE PARA A OBTENÇÃO DOS DISCOS E AMOSTRAS PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA AO LONGO DO FUSTE E NO SENTIDO MEDULA CASCA

FONTE: O autor (2015)

2.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

As amostras para determinação da massa específica básica foram previamente identificadas e mantidas submersas em água até a completa saturação das amostras. Para garantia de sua saturação, foi utilizada uma bomba de vácuo com as amostras imersas, até a completa saturação.

Segundo NBR 7190, define-se o termo prático “densidade básica” da madeira como sendo a massa específica convencional/básica obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado. A massa seca é determinada mantendo-se os corpos-de-prova em estufa a 103 °C até que a massa do corpo-de-prova permaneça constante. O volume saturado é determinado em corpos-de-prova submersos em água até atingirem peso constante.

A massa específica foi determinada baseada na variação do peso do líquido, no qual a perda aparente de massa de um corpo imerso em um líquido é igual ao peso do líquido deslocado (princípio de Arquimedes). Uma vez que o peso específico da água é aproximadamente igual a 1 g.cm⁻³, o volume de água deslocado é igual a sua massa, o que possibilita a leitura diretamente na balança. As cunhas foram pesadas

em balança eletrônica com precisão de 0,01 g e os corpos de prova sentido medula casca em balança eletrônica com 0,001 g.

Para este procedimento, utiliza-se um recipiente com volume de água suficiente para que a amostra possa ser completamente submersa, quando então ela é colocada sobre uma balança. A amostra é fixada em uma extremidade pontiaguda e então é completamente imersa na água, de modo a não encostar nas bordas e no fundo do recipiente.

Após a determinação do volume, realizou-se a secagem das amostras utilizando-se estufa com circulação de ar forçado à temperatura de 103 ± 2 °C até peso constante. A determinação da massa específica foi realizada de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo calculada utilizando-se a expressão:

$$\rho_b = M_s/V_u$$

Em que: ρ_b = massa específica básica (g.cm^{-3}); M_s = massa seca em estufa a 103 ± 2 °C (g); V_u = volume saturado (cm^3)

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise dos dados, cada árvore foi considerada como uma repetição. Elas foram avaliadas separando-as por classe, conforme já descrito.

As análises estatísticas foram baseadas em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas. Foi avaliado o efeito das classes na direção longitudinal, e o efeito dessa direção no sentido radial, utilizando a análise de variância, adotando-se o nível de 95% de probabilidade; quando observadas as diferenças entre os efeitos em questão, aplicou-se o teste de Tukey, a 95% de probabilidade.

Para a avaliação da variação da massa específica básica no sentido longitudinal, foi obtido o valor médio das cunhas em cada disco, e para a variação no sentido radial, foram utilizados os corpos-de-prova de 1 a 5 (medula-casca) de cada disco.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância resultou em interação não significativa, de forma que as variações das médias da massa específica ao longo do fuste foram estatisticamente iguais entre as três classes de diâmetro consideradas, pelo teste F a 95% de probabilidade.

Resultado semelhante foi observado Wehr e Tomazello Filho (2000) em plantio de *Araucaria angustifolia* estabelecido em 1971, que não encontraram diferenças significativas entre árvores das classes dominada (< 21,50 cm), codominante (21,50-31,51 cm) e dominante (> 31,52 cm), sendo as massas específicas de 0,50, 0,53, 0,48 g.cm⁻³, respectivamente.

Em plantio de 30 anos de *Pinus taeda* L. no sul do Brasil, Dobner Jr. (2014), concluiu que as classes de diâmetro são relativamente homogêneas independentemente da variante de desbaste. Apenas em uma classe foram detectadas diferenças, no entanto essas diferenças foram pequenas e sem qualquer relação clara com as variantes de desbaste.

No entanto, de acordo com Panshin e De Zeeuw (1970) comparações de árvores dominantes, codominantes, e suprimidas dentro dos povoamentos mostram aumento da massa específica com a supressão de árvores da mesma idade e considerando a mesma posição da amostra dentro do fuste. Árvores dominantes apresentam traqueídeos com maiores diâmetros, comprimentos mais curtos e massa específica menor do que árvores suprimidas.

O mesmo foi descrito por Larson (1963), salientando que em um povoamento fechado a porcentagem de lenho tardio varia conforme a classe e o desenvolvimento da copa. Assim, uma árvore dominante, com copa vigorosa, produz faixas largas de lenho inicial e conseqüentemente, madeira de menor massa específica, já as árvores das classes inferiores normalmente possuem porcentagem de lenho tardio mais elevada e, portanto, uma madeira mais densa do que aquelas dos estratos superiores do mesmo povoamento.

Muitos estudos examinaram a relação entre a massa específica do povoamento e propriedades da madeira, porém poucos tentaram quantificar diretamente a relação entre as características da copa e propriedades da madeira

(AMARASEKARA; DENNE, 2002; LACHENBRUCH *et al.*, 2011; KUPREVICIUS *et al.*, 2013).

Amarasekara e Denne (2002) e Kuprevicius *et al.* (2013) em seus estudos, indicam que pode haver um efeito da relação de copa livre com as propriedades mecânicas da madeira a uma dada idade cambial, mas este efeito pode ser significativo apenas quando existe grande variação entre árvores em relação a copa. Isso oferece suporte experimental para a teoria da formação da madeira, de que suas propriedades têm ligações com o desenvolvimento da copa (LARSON, 1969).

Porém, em coníferas, propriedades da madeira apresentam normalmente uma mudança rápida com a idade na zona cambial juvenil antes de atingir valores mais estáveis em madeira madura (ZOBEL; SPRAGUE, 1998), o que gera incertezas quanto à influência das medidas da copa sobre as propriedades da madeira (KUPREVICIUS *et al.*, 2013). Além disso, os mesmos autores, em estudo utilizando dimensões de copa para modelos de previsões de propriedades da madeira, alertam que a utilização de dimensões de copa é complicada pelo fato de as avaliações estáticas da copa serem usadas para representar um processo dinâmico em tempo.

Beltrame *et al.* (2010), em um plantio de *Araucaria angustifolia* implantado em 1966, encontraram diferenças na massa específica aparente a 12% de umidade entre os estratos inferior (dap médio de 9,8 cm), médio (dap médio de 16,2 cm) e superior (dap médio de 26,7 cm).

No presente trabalho, por não haver diferença significativa entre classes, a variação da massa específica na direção longitudinal foi realizada para todas as classes conjuntamente, pelo teste de Tukey, quando verificou-se que as médias diferiram estatisticamente, conforme apresentado na TABELA 4.1.

TABELA 4.1 - VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA NA DIREÇÃO LONGITUDINAL DE FUSTES DE *Araucaria angustifolia*

Altura	Altura	Médias (g.cm ⁻³)	Desvio padrão (g.cm ⁻³)
0	0,10 m	0,5045 a	0,033326
1	1,30 m	0,4844 ab	0,022979
2	20% da altura comercial	0,4594 bc	0,021855
3	40% da altura comercial	0,4344 cd	0,023200
4	60% da altura comercial	0,4501 bc	0,033736
5	80% da altura comercial	0,4046 d	0,029217
6	100% da altura comercial	0,3619 e	0,062852
		0,4427	

Em que: médias seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

FONTE: O autor (2015)

A massa específica média obtida ($0,4427 \text{ g.cm}^{-3}$) para as árvores avaliadas está próxima a encontrada por outros autores, avaliando a mesma espécie, mesmo que em condições e idades diferentes, podendo-se citar: Mattos *et al.* (2006), utilizando amostras de nove árvores, com dap médio de 33,5 cm, em plantio com 38 anos de idade, que obtiveram massa específica básica da madeira de $0,425 \text{ g.cm}^{-3}$; Melo *et al.* (2010), avaliando a massa específica aparente de três árvores com dap maior que 40 cm, oriundas de plantio de 50 anos na FLONA de São Francisco de Paula, encontraram uma média de $0,435 \text{ g.cm}^{-3}$; Mattos *et al.* (2011) obtiveram valores médios de $0,40 \text{ g.cm}^{-3}$ para árvores com 19 anos, que sofreram duas intervenções de desbaste, e verificaram que a massa específica diminuiu com a altura na árvore; e Rosa *et al.* (2013), utilizando dez exemplares com idade entre 24 a 29 anos, provenientes da FLONA de Irati, PR, encontraram massa específica básica média de aproximadamente $0,435 \text{ g.cm}^{-3}$.

Com base na TABELA 4.1, de modo geral, observa-se diminuição da massa específica na direção longitudinal, porém a 60% da altura comercial a massa específica média foi maior do que a 40% da altura comercial. Esse efeito pode estar relacionado à forte competição exercida no povoamento bem como possível reflexo do desbaste tardio.

Com relação às variações da massa específica com a altura da árvore, os resultados na literatura mostram certa divergência. Entretanto, de acordo com Elliott (1970) a diminuição da massa específica básica com o aumento da altura é tendência geral, indicado para coníferas, o que pôde ser observado nos trabalhos de Klock (1989), Muñiz (1993), Klock (2000), Hassegawa (2003), Palermo *et al.* (2003), Siqueira (2004), Bittencourt (2004), Pauleski (2010), com espécies do gênero *Pinus*, Jyske *et al.* (2008) estudando *Picea abies* (L.) Karst. e também por Mattos *et al.* (2011) estudando duas espécies do gênero *Pinus* e *Araucaria angustifolia*.

De acordo com Tsoumis (1991), a tendência de redução da massa específica com a altura da árvore, para as coníferas, é atribuída a fatores mecânicos e biológicos. Sob o ponto de vista mecânico, o tronco é considerado como a viga de sustentação, que sob influência de fatores agindo na copa, tendem a suportar os diversos esforços, resultando em formação de madeira de alta massa específica, portanto maior resistência. Em adicional aos fatores mecânicos, uma maior massa específica na base da árvore está relacionada pela formação do cerne, e a sua contribuição para as diferenças de massa específica é mais pronunciada quando o contraste de cor entre

o cerne e alburno é intenso. A cor mais escura do cerne é causada pela deposição de extrativos, que são mais leves do que o material da parede celular, mas a sua presença contribui para uma massa específica mais elevada, porque impregnam as paredes celulares ou são depositados em cavidades de células.

Vale *et al.* (2009), avaliando a variação longitudinal da madeira em plantio de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 13 anos, sem intervenção silvicultural, detectaram comportamento de queda da massa específica até metade da altura do tronco, e aproximadamente a partir deste ponto aumentando até atingir a altura máxima. Os autores não relataram o motivo para a tendência, no entanto o plantio até o momento do estudo sofreu pressão de competição, o que pode ter levado ao aumento da massa específica ao longo do fuste.

Trianoski *et al.* (2013), avaliando a variabilidade longitudinal da massa específica, em termos absolutos, para cinco espécies de *Pinus* entre 17 e 18 anos, sem interferência de desbaste, verificaram aumento na massa específica a 75% da altura comercial quando comparada com a posição a 50%.

De acordo com Larson (1963), em povoamentos fechados, com o aumento progressivo da competição, ocorre redução no tamanho das copas e na eficiência dos ramos, resultando em mudanças na distribuição do crescimento ao longo do fuste e nos teores de lenho tardio dentro dos anéis.

Segundo Kollmann e Côté Júnior (1968), para as coníferas, quando o desenvolvimento é lento, a largura do anel e a espessura da zona de transição são reduzidas, e com o aumento da competição, a porcentagem de lenho inicial decresce, e a proporção de lenho tardio aumenta, aumentando a massa específica para as árvores de crescimento lento.

No presente trabalho, após aumento da massa específica a 60% da altura comercial, houve redução significativa da mesma, devido ao aumento da taxa de crescimento, sugerindo ligação com a ocorrência de desbaste tardio efetuado no povoamento, verificando a desuniformidade da madeira ao longo do fuste.

Acréscimos grandes no crescimento em diâmetro das árvores logo após o desbaste dão a entender que o povoamento deveria ter sido desbastado mais cedo, e que um desbaste adequado não tem por objetivo a realização de grandes acréscimos repentinos no crescimento em diâmetro das árvores dominantes, mas evitar a repressão do seu crescimento (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960). Assim, é

possível afetar a uniformidade das propriedades da madeira em povoamento submetido a desbaste (PELTOLA *et al.*, 2002).

A falta de uniformidade da massa específica da madeira ao longo do fuste é resultado de um desbaste tardio, uma vez que após esse, a eficiência da copa viva aumenta, resultando em maior produção de madeira e podendo ocorrer alterações na qualidade (LARSON, 1963).

Brazier (1970), trabalhando com *Picea sitchensis* (Bong.) Carr., concluiu que a massa específica da madeira é influenciada pela taxa de crescimento, tendo como efeito um acréscimo no teor de lenho inicial sem um aumento correspondente do lenho tardio. Assim, quando um desbaste é seguido de incremento radial existe uma redução da massa específica básica da madeira.

Porém, para evitar alterações bruscas da taxa de crescimento do diâmetro, como o que pode ocorrer quando os desbastes são realizados com atraso, seria melhor efetuar a liberação da competição antes mesmo que ela chegasse a atingir níveis altos (SMITH *et al.*, 1997).

Para avaliar a variação da massa específica no sentido radial foram consideradas todas as árvores independentemente da classe de diâmetro atual, uma vez que não foram encontradas diferenças entre elas quando avaliadas no sentido longitudinal. Assim, foi avaliado o efeito da direção longitudinal na variação da massa específica na direção radial, por meio de parcela subdividida. Não se obteve interação significativa.

A variação da massa específica no sentido radial em diferentes alturas, bem como a variação da massa específica no sentido longitudinal em diferentes posições radiais encontra-se na TABELA 4.2.

TABELA 4.2 - VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA NAS DIREÇÕES RADIAL E LONGITUDINAL DO FUSTE DE *Araucaria angustifolia*

Altura	Medula								Casca	
	Posição 1		Posição 2		Posição 3		Posição 4		Posição 5	
0	0,4742	a A	0,4923	a A	0,4936	a A	0,5151	a A	0,5144	a A
1	0,3880	b C	0,4394	ab B	0,4760	a AB	0,5004	ab A	0,5008	ab A
2	0,3503	b C	0,3968	ab B	0,4534	ab A	0,4885	ab A	0,4825	abc A
3	0,3389	b C	0,3808	b BC	0,4239	ab AB	0,4513	bc A	0,4547	bc A
4	0,3927	b B	0,4216	ab AB	0,4479	ab AB	0,4670	abc A	0,4573	bc AB
5	0,3785	b A	0,4108	ab A	0,4187	ab A	0,4309	cd A	0,4297	c A
6	0,3450	b A	0,3640	b A	0,3743	b A	0,3822	d A	0,3748	d A

Em que: Letras minúsculas na vertical indicam a diferença no sentido longitudinal; e Letras maiúsculas na horizontal indicam a diferença no sentido radial. Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

FONTE: O autor (2015)

Ao avaliar o efeito da altura na variação da massa específica no sentido radial, é possível notar que para as amostras na posição 1, mais próxima a medula, maior média foi encontrada na base, e a partir daí não houve diferença estatística à medida que se aumenta a altura da árvore, devido a predominante presença de madeira juvenil.

De acordo com Larson *et al.* (2001), com o aumento da idade da árvore e crescimento em altura, a porção mais próxima ao solo torna-se mais afastada das porções foliares mais ativas da copa. Assim, os traqueoides dos lenhos inicial e tardio tornam-se mais diferenciados e a zona de transição torna-se abrupta. O processo de maturidade do anel de crescimento, que inicia na base do fuste, progride em altura a cada incremento. Já a madeira na porção do fuste próxima e inserida na copa continua a ser formada com características similares à madeira juvenil. A concomitante progressão em altura da madeira adulta e a diminuição em altura na formação de madeira juvenil resulta num cilindro central de madeira juvenil, que se estende através do tronco. Embora a madeira juvenil formada em árvore jovem não seja idêntica à madeira formada no fuste próxima à copa de árvores velhas, são suficientemente similares em suas características, podendo na prática serem consideradas idênticas.

Além disso, de acordo com Tsoumis (1991) a quantidade de madeira juvenil influencia a variação vertical, pois sua elevada quantidade na parte alta do tronco faz com que os valores da massa específica sejam menores que na base.

Nota-se, de modo geral, nas posições de 2 a 5, redução da massa específica ao longo do fuste, sendo essa variação mais evidente na amostra tomada a 100% da altura comercial, onde há maior presença de madeira juvenil. No entanto, é possível

notar, para todas as posições radiais, que há um ligeiro aumento na média da massa específica na altura comercial de 60%, que conforme discutido anteriormente, pode estar relacionado à forte competição a que o povoamento foi submetido e posterior liberação em um desbaste tardio.

Avaliando a variação da massa específica na direção radial em cada altura considerada (TABELA 4.2), observam-se diferenças estatísticas entre as regiões avaliadas, verificando, de um modo geral, aumento da massa específica no sentido medula casca em todas as alturas, à exceção da altura 5 e 6, que estatisticamente apresentaram mesma média de massa específica no sentido radial, que por sua vez, de um modo geral, são inferiores quando comparadas às massas específicas das demais alturas.

Rolim e Ferreira (1974) verificaram que a massa específica básica de cada anel de crescimento, de árvores de *Araucaria angustifolia* de plantio comercial com 15 anos de idade, aumentou no sentido medula-casca, sendo este crescimento acentuadamente linear. A variação de massa específica naquele estudo foi de 0,363 g.cm⁻³ no anel 2 até 0,522 g.cm⁻³ no anel 14, mostrando que árvores de plantios comerciais sofrem maior variação de massa específica nos primeiros anos de vida em relação à árvores de florestas naturais.

O aumento da massa específica no sentido da medula para a casca, obtido com crescimento lento, pode resultar em madeira de melhor qualidade. A redução das taxas de crescimento inicial por meio do controle da densidade inicial da população e programações atrasadas de desbaste podem resultar em menor proporção de madeira juvenil em favor de um aumento posterior da massa específica. Assim, o rápido crescimento obtido em idade mais avançada com a realização de operações silviculturais tende a reduzir a massa específica perto da periferia e produzir uma madeira com pouco ou reduzido gradiente de massa específica na direção da medula para casca (HANS *et al.*, 1972).

Tendência de aumento da massa específica básica na direção radial já foi verificada por vários autores em diferentes espécies, a citar Teixeira *et al.* (2011) com *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.; Tomazello Filho (1985), Rezende e Ferraz (1985), Cruz *et al.* (2003), Gonçalves *et al.* (2009), com *Eucalyptus* spp; Higa *et al.* (1973), Foelkel *et al.* (1975), Muñiz (1993), Rezende *et al.* (1995), Nogueira e Vale (1997), Pereira e Tomaselli (2004) em espécies do gênero *Pinus*, Amaral *et al.* (1971) para madeira de *Araucaria angustifolia*.

Avaliando a influência do desbaste na qualidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm., Pereira e Tomaselli (2004) observaram tendências de acréscimo da massa específica básica em função do aumento da intensidade de desbaste, na posição correspondente à altura do dap (1,30 m de altura do solo). Porém, os autores explicam que os resultados encontrados são devido a variação radial da massa específica da madeira em função da idade, com tendência de acréscimo no sentido da medula para a casca. Têm-se, nessas condições dois fatores agindo sobre a massa específica da madeira: a competição e a idade, ambos contribuindo diretamente para o aumento dessa variável.

A reação das árvores ao desbaste varia com a idade do povoamento, sobretudo porque o quociente entre o montante da parte ativa da copa e a altura do tronco, decresce com a idade dos povoamentos não desbastados. As árvores dos povoamentos que se mantêm sem desbaste, até que as copas fiquem muito pequenas não reagem muitas vezes ao desbaste, possivelmente porque a liberação incrementa mais a respiração total do que a fotossíntese total. Assim, é possível que as árvores em povoamentos superlotados possuam reservas insuficientes para desenvolverem rapidamente uma copa mais ampla capaz de levar adiante uma maior fotossíntese. Além disso, é possível que o dossel de tais povoamentos contenha grande proporção de folhas de sombra, que são danificadas por uma súbita exposição direta ao sol (KRAMER; KOZLOWSKI, 1960).

A magnitude de como o desbaste afeta as propriedades da madeira, depende da intensidade e do tipo do desbaste, da espécie, o estado da árvore em um povoamento e se a madeira juvenil ou adulta está sendo formada (TASSISSA; BURKHART, 1997).

Com relação à influência de desbastes sobre a massa específica da madeira de coníferas, há vários estudos, no entanto os resultados tem sido contraditórios. Guller *et al.* (2012) e Peltola *et al.* (2007) verificaram que o desbaste aumentou a massa específica média, Barbour *et al.* (1994) verificaram redução, enquanto outros não encontraram efeitos do desbaste sobre a massa específica da madeira (MÖRLING, 2002; JAAKKOLA *et al.*, 2005; JYSKE *et al.*, 2008; VINCENT *et al.*, 2011). Essa contradição é motivo para discussão, uma vez que madeiras de diferentes idades cambiais podem ter sido comparadas.

De acordo com o modelo conceitual de formação e qualidade da madeira proposto por Larson (1969), as árvores com grandes copas produzem madeira com

propriedades mecânicas inferiores, afetando negativamente a aptidão para determinadas utilizações estruturais. Assim, as intervenções silviculturais, como o desbaste, realizadas para estimular o crescimento radial por meio de um aumento das dimensões da copa também pode afetar negativamente as propriedades da madeira.

Examinando-se como o desenvolvimento da copa influencia a formação da madeira, torna-se claro como mudanças nas condições de crescimento podem afetar essa relação. Dessa forma, pode-se inferir que as condições do plantio e práticas silviculturais podem influenciar significativamente a qualidade da madeira por alterações na relação copa-fuste (LARSON *et al.*, 2001), sendo possível conseguir uma madeira mais homogênea, controlando a competição entre árvores.

Assim, o planejamento do manejo, visando uma competição balanceada de árvores com desbaste periódico, permitiria a produção de madeira, com menor variabilidade de massa específica, de forma a reduzir os problemas no processamento mecânico e aumentando a dimensão das árvores remanescentes.

4 CONCLUSÕES

A competição parece não exercer influência entre classes de dap quanto a massa específica básica da madeira, uma vez que não houve diferença estatística significativa entre as diferentes classes.

De modo geral, a massa específica aumenta na direção radial, da medula para casca, e diminui na direção longitudinal, da base para o topo, porém essa tendência de diminuição é interferida possivelmente por um período de intensa competição, voltando a reduzir após aplicação de desbaste tardio, gerando desuniformidade da madeira ao longo do fuste.

5 RECOMENDAÇÕES

Métodos mais sensíveis, como por exemplo densitometria de raio X, deveriam ser aplicados para determinação de diferenças de massa específica da madeira ao longo das camadas de crescimento.

Sugere-se também, avaliar outras propriedades da madeira, que possam ser mais sensíveis às variações de formação da madeira ao longo do fuste, determinando-se situações que possam exigir processamento mecânico diferenciado para melhor aproveitamento da matéria prima.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. C. B.; FERREIRA, M.; BANDEL, G. Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no sentido medula-casca em árvores do sexo masculino e feminino, **IPEF**, Piracicaba, n. 2/3, p. 119-127, 1971.
- AMARASEKARA, H.; DENNE, M. P. Effects of crown size on wood characteristics of Corsican pine in relation to definitions of juvenile wood, crown formed wood and core Wood. **Forestry**, v. 75, n. 1, p. 51-61, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- BARBOUR, R. J.; FAYLE, D. C. F.; CHAURET, G.; COOK, J.; KARSH, M. B.; RAN, S. Breast-height relative density and radial growth in mature jack pine (*Pinus banksiana*) for 38 years after thinning. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, n. 12, p. 2439-2447, 1994.
- BELTRAME, R.; SOUZA, J. T.; MACHADO, W. G.; VIVIAN, M. A.; BULIGON, E. A.; PAULESKI, D.T.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) em três estratos fitossociológicos. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 2, p. 54-69, 2010.
- BITTENCOURT, E. **Parâmetros de otimização no processo de fabricação de celulose e papel**. 61 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- BRAZIER, J. D. Timber Improvement. II. The effect of vigour on young-growth Sitka spruce. **Forestry**, v. 43, p. 135-150, 1970.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
- CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 33-47, 2003.
- DOBNER JUNIOR, M. **Impacto do manejo de povoamentos na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus taeda***. 276 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- ELLIOTT, G. K. **Wood Density in Conifers**. Oxford: Commonwealth Agricultural Bureaux. 1970. 44p. (Commonwealth Forestry Bureau, Technical Communication, n. 8).
- FOELKEL, C. E. B.; FERREIRA, M.; NEHRING, J. H.; ROLIM, M. B. Variabilidade no sentido radial de madeira de *Pinus elliottii*. **IPEF**, Piracicaba, n. 10, p. 1-11, 1975.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; DELLA LUCIA, R. M.; SARTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 501-509, 2009.

GULLER, B.; ISIK, K.; CETINAY, S. Variations in the radial growth and wood density components in relation to cambial age in 30-year-old *Pinus brutia* Ten. at two test sites. **Trees**. v. 26, n. 3, p. 975-986, 2012.

HANS, A. S.; BURLEY, J.; WILLIAMSON, P. Wood quality in *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden, Grown in Zambia. **Holzforschung**, v. 26, n. 4, p. 138-141, 1972.

HASSEGAWA, M. **Qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. de procedência da África do Sul**. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

HIGA, A. R.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *P. elliotii*. var. *elliotii* e *P. taeda*. **IPEF**, Piracicaba, n. 7, p. 79-91, 1973.

JAAKKOLA, T.; MÄKINEN, H.; SARANPÄÄ, P. Wood density in Norway spruce: changes with thinning intensity and tree age. **Canadian Journal of Forest Research** v. 35, n. 7, p. 1767-1778, 2005.

JANKOWSKY, I. P. Madeira juvenil: Formação e aproveitamento industrial. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 81, p. 1-15, 1979.

JYSKE, T.; MÄKINEN, H.; SARANPÄÄ, P. Wood density within Norway Spruce stems. **Silva Fennica**, v. 42, n. 3, p. 439-455, 2008.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Shiede e *Pinus caribea* Morelet var *hondurensis* Barr e Golf**. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

KLOCK, U. **Qualidade da Madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 291 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer Verlag, v. 2, 1968.

KRAMER, P. J.; KOSLOWSKI T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 745 p.

KUPREVICIUS, A.; AUTY, D.; ACHIM, A.; CASPERSEN, J. P. Quantifying the influence of live crown ratio on the mechanical properties of clear wood. **Forestry**, v. 86, p. 361-369, 2013.

LACHENBRUCH, B.; MOORE, J. R.; EVANS, R. Radial variation in wood structure and function in woody plants, and hypotheses for its occurrence. In **Size - and Age -**

Related Changes in Tree Structure and Function. Tree Phys., v. 4. Meinzer, F.C., Lachenbruch, B. Dawson, T.E. (eds). Springer, London. p. 121-164, 2011.

LARSON, P. R. Stem Form Development of Forest Trees. **Forest Science**. Monograph 5. Washington, 1963, 42 p.

LARSON, P. R. **Wood formation and the concept of wood quality.** Yale University, School of Forestry, 1969. 53 p. (Bulletin n. 74).

LARSON, P. R.; KRETSCHMANN, D. E.; CLARK, A. III; J. G. ISEBRANDS. **Formation and properties of juvenil wood in Southern Pines:** a synopsis. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-129. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 42 p. 2001.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 279-291, 2000.

MALAN, F. S. *Eucalyptus* improvement for lumber production. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: IPEF; IPT; IUFRO; LCF/ESALQ/USP, 1995. p. 1-19.

MATTOS, P. P.; DE BORTOLI, C.; MARCHESAN, R.; ROSOT, N. C. **Caracterização Física, Química e Anatômica da Madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze.** Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 160).

MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; MELO, R. R.; SANTINI, E. J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, 2011.

MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; DEL MENEZZI, C. H. S.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L.; Caracterização física e mecânica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 1, p. 67-73, 2010.

MÖRLING, T. Evaluation of annual ring width and ring density development following fertilization and thinning of Scots pine. **Annals of Forest Science**, v. 59, p. 29-40, 2002.

MUÑIZ, G. I. B. **Caracterização e de desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm e *Pinus taeda* L.** 235 p. Tese. (Doutorado em Ciências Florestais) Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

NOGUEIRA, M. V. P.; VALE, A. T. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* proveniente de cerrado: relação com a massa específica básica média e variação radial e axial. **Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 4, p. 547-554, 1997.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; REZENDE, M. A.; NASCIMENTO, A. M.; SEVERO, E. T. D.; ABREU, H. S. Análise da massa específica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. por meio de radiação gama de acordo com as direções estruturais (longitudinal e radial) e a idade de crescimento. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 2, p. 47-57, 2003.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; SEVERO, E. T. D.; NASCIMENTO, A. M.; REZENDE, M. A. Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm. **Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 191-200, 2013.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of Wood Technology**. 3 th. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970. 705 p.

PAULESKI, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** 196 f. Tese (doutorado) – Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

PELTOLA, H.; MIINA, J.; ROUVINEN, I.; KELLOMÄKI, S. Effect of Early Thinning on the Diameter Growth Distribution along the Stem of Scots Pine. **Silva Fennica**. v. 36, n. 4, p. 813-825, 2002.

PELTOLA, H.; KILPELÄINEN, A.; SAUVALA, K.; RÄISÄNEN, T.; IKONEN, V. P. Effects of early thinning regime and tree status on the radial growth and wood density of Scots pine. **Silva Fennica**. v. 41, n. 3, p. 489-505. 2007.

PEREIRA, J. C. D.; TOMASELLI, I. A Influência do Desbaste na Qualidade da Madeira de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*. **Boletim Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 49, p. 61-81. 2004.

ROLIM, M. D.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze em função dos anéis de crescimento. **IPEF**, Piracicaba, n. 9, p. 47-55, 1974.

ROSA, T. S.; HILLIG, E.; VIANA, L. C. Propriedades físicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze e sua relação com os anéis de crescimento. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 04, n. 01, p. 01-14, 2013.

REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. Densidade anual da madeira de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 30, p. 37-41, 1985.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, Piracicaba, n. 48/49, p. 133-141, 1995.

SCHILLING, A. C.; SCHNEIDER, P. R.; HASELEIN, C. R.; FINGER, C. A. G. Influência de diferentes intensidades de desrama sobre a porcentagem de lenho tardio e quantidade de nós da madeira de primeiro desbaste de *Pinus elliottii* Engelman. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 115-127, 1998.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JUNIOR, S.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

SIQUEIRA, K. P. **Variabilidade da massa específica de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio**. 43 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SMITH, D. M.; LARSON, B. C.; KELTY, M. J.; ASHTON, P. M. S. **The practice of silviculture: applied forest ecology**. 9. ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. 537 p.

TASSISSA, G.; BURKHART, H. E. Modeling thinning effects on ring width distribution in loblolly pine (*Pinus taeda*). **Canadian Journal of Forest Research**, v. 27, n. 8, p. 1291-1301, 1997.

TEIXEIRA, B. M. R.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; DELLA LUCIA, R. M. Avaliação radial e longitudinal das propriedades mecânicas e da massa específica básica da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 463-468, 2011.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 29, p. 37-45, 1985.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Variação longitudinal da densidade básica da Madeira de espécies de pinus tropicais. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 503-510, 2013.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: Structure, Properties, Utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

VALE, A. T.; ROCHA, L. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 387-394, 2009.

VINCENT, M.; KRAUSE, C.; KOUBAA, A. Variation in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP) wood quality after thinning. **Annals of Forest Science**, v. 68, p. 1115-1125. 2011.

WEHR, N. J.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, através da microdensitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 58, p. 161-170, 2000.

ZOBEL B. J.; SPRAGUE J. R. **Juvenile Wood in Forest Trees**. Berlin: Springer-Verlag, 1998. 300 p. (Springer Series in Wood Science).

CAPÍTULO V

ANÁLISE RETROSPECTIVA DA COMPETIÇÃO NO CRESCIMENTO DIAMÉTRICO EM UM POVOAMENTO SUPERESTOCADO DE *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar o padrão de crescimento e a evolução da competição ao longo dos anos em árvores de *Araucaria angustifolia*. O estudo foi realizado em um povoamento superestocado, estabelecido em 1946, em Campo Largo, PR, na Floresta Nacional do Açungui. Foram selecionadas 46 árvores objetivo, representantes das classes de diâmetro 10-30 cm, 30-50 cm e 50-70 cm, sendo coletados discos em 14 alturas de cada árvore. De cada competidora das árvores objetivo foram retiradas duas amostras não destrutivas a 1,30 m do solo. Para cada classe de diâmetro foram ajustados modelos de crescimento em diâmetro e em volume. Para a análise retrospectiva da competição foram utilizados índices de competição dependente e independente da distância. Observou-se três grupos distintos de crescimento, além de árvores oriundas de regeneração, que apresentaram crescimento semelhante ao início do povoamento. No entanto, com a redução do espaço disponível para cada árvore, houve redução no ritmo de crescimento das árvores de regeneração. O incremento médio anual estabilizou a partir dos 30 cm, mostrando os efeitos da competição em um povoamento superestocado. O crescimento até 20 anos foi estatisticamente igual entre as duas menores classes de diâmetro atual, sugerindo que um desbaste ainda nesse período poderia ter sido bem sucedido. Em uma situação na qual o povoamento fosse resultante de intervenções adequadas de manejo, o volume de madeira remanescente seria de 314,1 m³.ha⁻¹ aos 65 anos, contrastando com o volume disponível no povoamento superestocado atual (434,7 m³.ha⁻¹). Apesar do menor volume total, apenas 22,8% de madeira seriam de árvores de diâmetros maiores do que 50 cm. Os índices de competição captaram as alterações do ritmo de crescimento, sendo evidente a diminuição da competição no período pós-desbaste. A análise retrospectiva foi mais consistente na descrição do crescimento das árvores objetivo quando considerada a distância entre árvores.

Palavras-chave: índices de competição; estagnação do crescimento.

CHAPTER V

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE DIAMETRIC GROWTH COMPETITION IN AN OVERSTOCKED STAND OF *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine growth pattern and competition evolution in different diameter classes along the years in trees of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. The study was carried out in an overstocked stand, established in 1946 on the National Forest of Açungui, in Campo Largo, Parana State, Brazil. Forty six objective trees were selected, representing diameter classes of 10-30 cm, 30-50 cm e 50-70 cm. It were collected discs samples in 14 different heights of each tree. For each diameter class it was fitted diameter and volume growth models. To the retrospective competition analysis it was used distance dependent and independent indices. Two non-destructive samples were taken at 1.30 m from each competitor tree. It was observed three distinct growth groups, and trees from regeneration, that presented annual growth similar to that seen in the beginning of the stand. However, with the reduction of the space available for each tree, there was a reduction in the growth rate of trees from regeneration. The average annual increment stabilized from 30 cm, showing the effects of competition in an overstocked stand. The growth until 20 years old was statistically similar for the two smaller diameter classes, suggesting that thinning could be successful even at that period. Considering that the management interventions were adequately carried out in the stand, the wood volume would be 314.1 m³.ha⁻¹ at 65 years old, contrasting with the actual wood volume available in the overstocked stand (434.7 m³.ha⁻¹). Although the smaller volume, only 22.8% of the wood today are from trees with diameter higher than 50 cm. Competition indices captured changes in growth rate, as it was evident the competition in post-thinning period. The retrospective analysis was more consistent to describe growth from objective trees when considering the distance between trees.

Keywords: competition indices; stagnant growth.

1 INTRODUÇÃO

Em um povoamento ou em condições naturais, as árvores podem responder de forma diferente às condições de crescimento a que estão sendo submetidas (HUSCH *et al.*, 1982). Por isso, a compreensão da dinâmica de crescimento de espécies arbóreas é de grande importância para o manejo florestal sustentável e para a compreensão das interações entre a floresta e o ambiente (SPIECKER, 2002).

Assim, para o desenvolvimento de planos de manejo, faz-se necessário averiguar o potencial produtivo de cada povoamento, de maneira que o crescimento e a produção florestal possam ser prognosticados (ALEMDAG, 1991). Nesse contexto, a utilização de informações detalhadas sobre o ritmo de crescimento, possibilita o planejamento da exploração. Inúmeras pesquisas utilizando a dendrocronologia como ferramenta tem sido utilizada para recuperar dados de crescimento para o embasar planos de manejo (SPIECKER, 2002; CHERUBINI *et al.*, 2003).

A dendrocronologia passa a ser uma alternativa mais econômica em tempo e recursos, pois é uma técnica que possibilita a recuperação do registro do crescimento passado de uma árvore por meio da medição dos seus anéis de crescimento ou pela análise de tronco (HUSCH *et al.*, 1982), possibilitando estabelecer relações entre as variáveis de interesse e a idade da árvore, como as taxas médias de incremento, que são informações essenciais para o manejo (CHATURVEDI; KHANNA, 1982).

Além disso, a dendrocronologia se mostra muito útil para recuperar as informações de variáveis dendrométricas em povoamentos sem monitoramento consistente do crescimento ao longo dos anos. Nesse contexto, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. apresenta-se como uma espécie com grande potencial para estudos dessa natureza, pois além de ser uma espécie com grande potencial econômico (SANQUETTA *et al.*, 2005), justificando a importância de se sistematizar o máximo de informações para o embasamento do manejo de povoamentos por gestores florestais, também apresenta anéis anuais de crescimento distintos (SEITZ; KANNINEN, 1989; OLIVEIRA, 2007; MATTOS *et al.*, 2007a, 2007b, 2010; OLIVEIRA; MATTOS, 2010; SANTOS *et al.*, 2011; entre outros), possibilitando a condução de estudos dendrocronológicos com grande confiabilidade nos dados gerados.

Alguns plantios de *Araucaria angustifolia* estabelecidos antes da metade do século passado e existentes ainda hoje apresentam crescimento baixo e estagnado,

por não terem sido submetidos à práticas de manejo adequadas. No entanto, são importantes registros do crescimento da espécie nos diferentes sítios e manejo, sendo necessário recuperar as informações pela análise atual e retrospectiva, como possibilidade de compreender as limitações impostas pela competição entre árvores, buscando direcionar novos povoamentos para otimização do investimento e do retorno econômico.

A competição está diretamente relacionada com o espaço vital que cada árvore tem disponível para o seu desenvolvimento (KRAMER; KOSLOWSKI, 1960; ASSMANN, 1970), sendo o crescimento crescente até que o espaço seja completamente preenchido, e a partir desse ponto, devido à competição por recursos, as taxas de incremento diminuem (RADTKE *et al.*, 2003). Dessa forma, compreender a dinâmica de competição relacionada ao crescimento das árvores é importante para a elaboração do manejo florestal (JOHNSON; SMITH, 2009).

Desse modo, buscam-se desenvolver modelos de crescimento, cuja densidade é expressa por meio de índices de competição (WIMBERLY; BARE, 1996). Índices de competição matemáticos não descrevem todos os complexos processos biológicos envolvidos na competição entre árvores, porém fornecem medidas dos resultados destes processos (DANIELS *et al.*, 1986), e têm sido úteis como variáveis nos modelos de predição do crescimento individual de árvores com o objetivo de indicar o status competitivo de uma determinada árvore em relação às árvores competidoras (RADTKE *et al.*, 2003).

Índices de competição baseados em anéis de crescimento apresentam vantagens por serem indicadores do desempenho de crescimento das árvores, por possibilitarem resolução anual e também por permitirem a interpretação das mudanças nos processos de competição, pela leitura das séries anuais de crescimento (FONTI *et al.*, 2006).

O objetivo deste estudo foi determinar o padrão de crescimento de árvores em diferentes classes de diâmetro atual em um plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* pelo estudo dos anéis de crescimento e a evolução da competição ao longo dos anos, por meio de aplicação retrospectiva de índices de competição.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados em um povoamento superestocado, estabelecido em 1946, em Campo Largo, PR, na Floresta Nacional do Açungui, ocupando uma área de aproximadamente 131 hectares, com registro de desbaste realizado entre 1970 a 1980.

Foram amostrados 296 árvores de *Araucaria angustifolia* (SISBIO 35355-1), dentre as quais 46 são árvores representativas das diferentes classes de diâmetro atual presentes no povoamento, definidas como centro das parcelas de amostragem e denominadas como objetivos e as demais são aquelas ao redor delas, cujas copas estavam em contato com a copa da árvore objetivo de cada parcela, denominadas como suas respectivas competidoras. A escolha das árvores objetivo baseou-se na distribuição diamétrica, procurando-se contemplar todas as classes, sendo distribuídas em seis classes de diâmetro, com intervalo de 10 cm, variando de 10 a 70 cm.

Os diâmetros a 1,30 m de altura do solo (dap) das árvores amostradas variaram de 10,2 a 68,8 cm. Foram coletados, das árvores objetivo e de suas competidoras, os dados de dap, altura total e diâmetro de copa. As árvores competidoras foram espacializadas, sendo anotada a posição em que cada uma estava localizada e medida a distância entre a objetivo e suas competidoras.

As 46 árvores objetivo foram derrubadas, sendo cada árvore dividida em seções, em que o primeiro disco foi retirado à altura de 0,1 m de altura do solo, em seguida a 0,5 m, 1,0 m e 1,30 m e posteriores a cada 10% da altura comercial até atingir 100%, considerada no último verticilo, totalizando 14 discos por árvore.

De cada uma das 250 árvores competidoras foram retiradas duas amostras não destrutivas (SISBIO 35355-1), utilizando-se o Trado de Pressler, coletadas a 1,30 m de altura do solo, sendo a segunda coletada a 90° da primeira amostra retirada, procurando-se atingir a medula das árvores.

2.2 PREPARO DE AMOSTRAS E MEDIÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

As amostras, destrutivas e não destrutivas, foram secas à temperatura ambiente e lixadas de maneira gradual, para melhor visualização dos anéis de crescimento. Posteriormente foram realizadas a marcação e medição deles com auxílio de microscópio estereoscópico e de mesa de mensuração LINTAB, com precisão de 0,01 mm, e do programa Time Series Analysis and Presentation – TSAP (RINN, 1996). Em cada disco foram traçados quatro raios. Em discos com irregularidades ou deslocamento de medula, esses foram ampliados para oito raios.

A confirmação da camada de crescimento anual foi feita por meio da datação cruzada entre os anéis de crescimento medidos em cada raio, e posteriormente entre árvores. Para assegurar a associação do ano correto a cada camada de crescimento, fez-se a datação visual entre séries, utilizando-se planilha eletrônica. Além disso, com as séries de crescimento superiores a 40 anos, utilizou-se o software COFECHA (HOLMES, 1983) para a confirmação da datação das séries medidas. Com as séries das árvores oriundas da análise completa de tronco, foi gerada uma série mestre, sendo possível a datação das amostras não destrutivas com maior confiabilidade.

Foram analisados períodos de 50 em 50 anos com defasagem de 25 anos. Tal amplitude de análise apresenta correlação crítica de 0,3281 ($p < 0,01$) para a existência de similaridade entre os padrões de crescimento dos diferentes indivíduos.

As séries de crescimento foram então utilizadas para a determinação do incremento corrente anual (ICA) em cm, possibilitando a obtenção de dados de incremento acumulado, incremento periódico (IP), incremento médio anual (IMA) e incremento por classe diamétrica.

2.3 AJUSTE DE EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO

Para a caracterização do crescimento das árvores, dada a grande amplitude diamétrica, optou-se por analisar as árvores agrupando-as por classes de diâmetro atual, representando diferentes condições de competição, sendo diferenciadas em: Classe 1 (10-30 cm); Classe 2 (30-50 cm) e Classe 3 (50-70 cm).

A partir dessa separação, foi feita a comparação das médias pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Na sequência, foram ajustados modelos de crescimento em diâmetro para cada classe de diâmetro considerada (TABELA 5.1).

Os mesmos modelos foram ajustados para se determinar o crescimento anual em volume para cada classe de diâmetro. Para essa estimativa foram utilizadas as informações geradas na análise completa de tronco.

TABELA 5.1 - MODELOS DE CRESCIMENTO TESTADOS

Denominação	Modelo
Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$
Gompertz	$y = ae^{-e^{b-ct}}$
Logística	$y = \frac{a}{1 + be^{-ct}}$
Mitcherlich	$y = a(1 - be^{-ct})$
Schumacher	$y = ae^{-c(\frac{1}{t})}$

Em que: y = diâmetro a 1,30 m de altura do solo – dap (cm); t = idade (anos); a , b e c = os parâmetros das equações; e = base do logaritmo natural.

FONTE: Schneider e Schneider (2008)

A seleção do modelo para estimar o incremento diamétrico e o crescimento acumulado do diâmetro foi baseada nas estatísticas: erro padrão da estimativa (S_{yx}) e em percentagem ($S_{yx}\%$), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) e, principalmente, comparando a plotagem dos dados reais e resíduos com o ajuste da regressão, conforme indicado por Vanclay (1994).

De posse do melhor modelo para estimar o volume, calculou-se o incremento corrente anual (ICA) e o incremento médio anual (IMA), para todas as idades, até 65 anos, idade do povoamento no período da coleta, para a análise gráfica da evolução da variável no tempo.

2.4 IDENTIDADE DE MODELOS

Após a seleção do modelo de crescimento para cada classe de competição, esses foram linearizados, visando, por meio de teste de identidade de modelos de regressão linear, desenvolvido por Graybill (1976) e descrito por Regazzi (1996), identificar igualdade estatística entre eles.

A técnica consiste em verificar se existe semelhança estatística entre modelos lineares, por meio do teste F de Graybill (TABELA 5.2), em que se emprega a diferença entre a soma de quadrados da regressão (SQ_{reg}) dos modelos completos e o modelo reduzido. Assim, procedeu-se o ajuste individualmente de todas as classes de diâmetro atual, e em seguida os modelos foram agrupados, dentro de todas as possíveis combinações.

TABELA 5.2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS LINEARES

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F
Modelo Completo	(hp)	$SQ_{reg-completo} = SQ_1 + SQ_2 + \dots$		
Modelo Reduzido	p	$SQ_{reg-reduzido}$		
Diferença para testar hipótese	(h-1)p	$SQ_{reg-completo} - SQ_{reg-reduzido}$	$SQ_{diferença} / (h-1)p$	$QM_{diferença} / QM_{resíduo}$
Resíduo	n-(hp)	$SQ_{total} - SQ_{reg-completo}$	$SQ_{resíduo} / (n-hp)$	
Total	n	$SQ_{(total)}$		

Em que: GL = grau de liberdade; SQ = soma de quadrados; SQ_{reg} = soma de quadrados da regressão QM = quadrado médio; h = número de tratamentos agrupados; p = número de parâmetros do modelo; n = número de observações do modelo completo.

FONTE: Regazzi (1996), adaptado pelo autor (2015)

Conforme Regazzi (1996), a hipótese formulada para a identidade entre modelos é dada por $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_N$ (os modelos completos são idênticos ao modelo reduzido); e $H_1: \beta_i \neq \beta_j$ (nem todos os modelos completos são idênticos ao reduzido). Se F calculado \geq F tabelado, então se rejeita H_0 (significativo), ou seja, impossível o uso de modelo único com parâmetros comuns. E se F calculado $<$ F tabelado, se aceita H_0 (não significativo), ou seja, modelos são iguais.

2.5 TEMPO DE PASSAGEM POR CLASSE DIAMÉTRICA

Visando-se definir quanto tempo uma árvore demora para atingir uma determinada dimensão diamétrica, ou seja, definir o ciclo de corte de uma floresta natural (SCOLFORO *et al.*, 1996), foi realizado o cálculo do tempo de passagem entre classes diamétricas, por meio da divisão do intervalo de classe (cm) pelo incremento periódico anual na classe diamétrica (cm.ano^{-1}). Para essa análise foram consideradas apenas as árvores da classe de diâmetro atual 3 (50-70 cm), uma vez que o potencial da espécie na área em estudo foi comprovado por árvores que atingiram as referidas dimensões, mesmo que em condições de alta competição.

2.6 ANÁLISE RETROSPECTIVA DA COMPETIÇÃO

Foram utilizados dois índices de competição pré-selecionados dentre 29 testados (Capítulo I), sendo eles o de Stage (1973), independente da distância, e o de Moore *et al.* (1973), dependente da distância, conforme segue:

$$Stage (1973) = \frac{d_i}{q}$$

$$Moore et al. (1973) = \sum_{j=1}^n \frac{d_i^2}{d_i^2 + d_j^2} \cdot L_{ij}$$

Em que: d_i e d_j = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (dap) da árvore objetivo i e da árvore competidora j (cm), respectivamente; q = diâmetro quadrático das competidoras (cm); L_{ij} = distância entre a árvore objetivo e a árvore competidora (cm)

Considerando-se que não é possível garantir que ao redor de cada árvore objetivo se encontravam no passado apenas as árvores competidores atuais, para a melhor representação da análise retrospectiva da competição, o índice de Moore *et al.* (1973) foi utilizado de forma adaptada, considerando-se uma árvore competidora, sendo selecionada aquela de maior diâmetro.

Para verificação da competição retrospectiva, os diâmetros e distâncias entre árvores foram recalculados para obtenção dos índices de competição ano a ano.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas 46 séries dendrocronológicas obtidas com análises de amostras destrutivas, após a datação cruzada entre árvores, foi possível verificar que algumas árvores de menor diâmetro são de regeneração natural, uma vez que possuem idade compatível com a abertura de clareiras na ocasião de um desbaste realizado entre as décadas de 1970 e 1980. Os indivíduos provenientes da regeneração encontram-se entre as classes de diâmetro atual de 10 cm a 30 cm.

Considerando apenas as árvores com idade compatível com o plantio original, foram analisadas 36 séries de crescimento, resultando em uma intercorrelação de 0,454, superior ao valor crítico de 0,3281 ($p < 0,01$), o que significa existir correlação dependente positiva e significativa entre as séries.

Assim, foi possível a construção de uma série mestre, a qual representa o padrão de crescimento da espécie na área de estudo. A série mestre foi utilizada para auxiliar a datação das árvores em que foram obtidas amostras não destrutivas.

Diante da diferença de idade e do comportamento do crescimento das árvores de regeneração, as árvores foram redefinidas além das 3 classes de diâmetro atual, ficando então: Classe 1 (10-30 cm), Classe 2 (30-50 cm), Classe 3 (50-70 cm) e Regeneração (10-30 cm).

Os incrementos por classe diamétrica do povoamento em cada classe de diâmetro atual separadamente estão representados na FIGURA 5.1. Árvores oriundas de regeneração não foram avaliadas, já que não representam a mesma idade das demais.

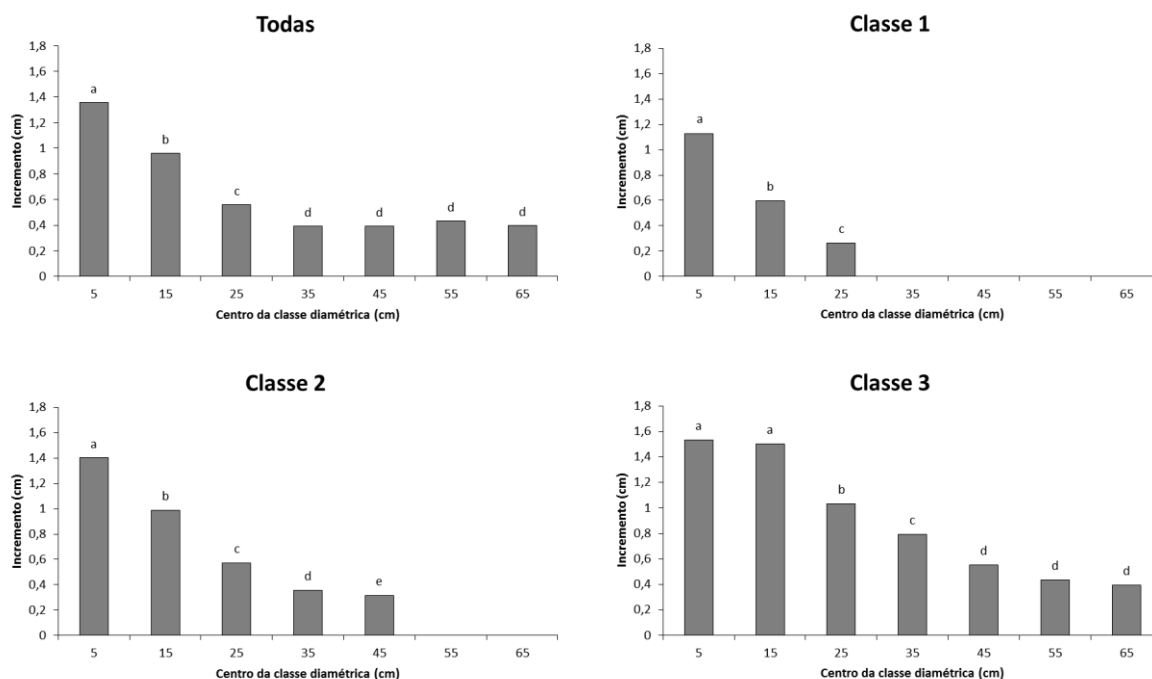


FIGURA 5.1 - INCREMENTO MÉDIO POR CLASSE DIAMÉTRICA DO POVOAMENTO NAS DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL

Nota: Para as comparações foi empregado o teste de Tukey a 95% de probabilidade. Letras minúsculas diferentes indicam diferença entre as médias de incremento de acordo com a alteração da classe diamétrica em uma mesma classe de diâmetro atual, sendo Classe 1 (10-30 cm), Classe 2 (30-50 cm), Classe 3 (50-70 cm) e Todas (10-70 cm).

FONTE: O autor (2015)

Foi observado crescimento diferente para a espécie, considerando as diferentes classes diamétricas e classes de diâmetro atual, com incremento variando de 0,26 cm entre os 20 e 30 cm para a Classe 1 (10-30 cm), a 1,53 cm para a classe diamétrica de 10-20 cm em árvores da classe de diâmetro atual 3 (50-70 cm).

Avaliando-se as médias de incremento das diferentes classes diamétricas em árvores de uma mesma classe de diâmetro atual (FIGURA 5.1), é possível notar que a classe 3 apresenta média de incremento estatisticamente igual nas duas primeiras classes diamétricas, enquanto as classes 1 e 2 diminuem o incremento médio à medida que crescem em diâmetro. A classe 3 tende a estabilizar o incremento médio a partir dos 40 cm de diâmetro. Quando se considera o conjunto de todas as árvores, observa-se que o incremento apresentou estabilização a partir dos 30 cm de dap.

Na comparação em uma mesma classe diamétrica, considerando que, cada classe de diâmetro atual está representada na FIGURA 5.2, é possível observar que o incremento médio foi semelhante entre as diferentes classes de diâmetro atual até atingir 10 cm de dap. No entanto, já na classe diamétrica de 10 a 20 cm se observa

diferença de ritmo de crescimento entre as três classes de diâmetro atual, sendo que a classe 3 (maiores diâmetros) apresentava incremento maior que o dobro da classe 1 (menores diâmetros observados no povoamento).

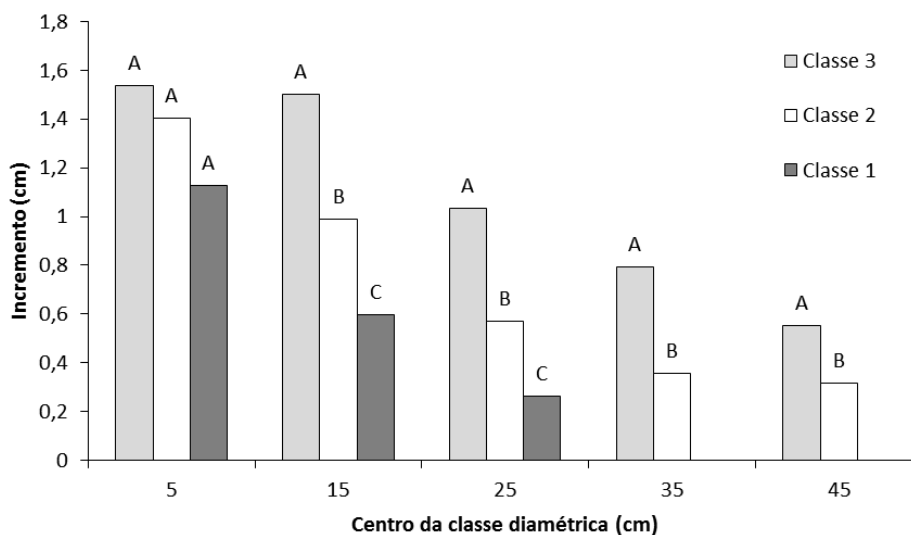


FIGURA 5.2 - DINÂMICA DO INCREMENTO MÉDIO DE ÁRVORES DAS CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL, DENTRO DE CADA CLASSE DIAMÉTRICA

Nota: Para as comparações foi empregado o teste de Tukey a 95% de probabilidade. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre as médias de incremento para uma mesma classe diamétrica considerando diferentes classes de diâmetro atual, sendo Classe 1 (10-30 cm), Classe 2 (30-50 cm) e Classe 3 (50-70 cm).

FONTE: O autor (2015)

Conforme esperado, o efeito da competição foi mais evidente nas árvores de menores diâmetros (Classes 1 e 2) do que nas maiores (Classe 3), conforme observado por Bella (1971) (TABELA 5.3). Pelas características de povoamento superestocado, essas árvores possivelmente conseguiram se manter como dominantes desde a diferenciação entre classes sociológicas, garantindo maior acesso à luz solar para realizar fotossíntese, influenciando diretamente os processos fisiológicos e refletindo em maiores taxas de crescimento (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1997).

TABELA 5.3 - INCREMENTO MÉDIO ANUAL PARA DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL

Classes	IMA em diâmetro (cm)
3 (50-70 cm)	0,71 ± 0,45 a
2 (30-50 cm)	0,57 ± 0,43 b
1 (10-30 cm)	0,46 ± 0,38 d
Regeneração	0,52 ± 0,46 c
Média de todas	0,58 ± 0,44 b

Em que: médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; IPA = Incremento Periódico Anual (cm).

FONTE: O autor (2015)

Os incrementos registrados na maior classe de diâmetro na área de estudo (FIGURA 5.1) estão consistentes com os registrados por Mattos *et al.* (2007a) em floresta natural em Candói, PR, cujo incremento médio anual variou entre 0,7 e 1,3 cm.ano⁻¹, avaliando árvores com até 30 cm. Já as classes menores (1 e 2) mostravam incremento médio inferior. Esses resultados são consistentes com outros estudos que mostram o incremento médio superior em plantas na fase inicial de crescimento, como em Zamin (2013), que encontrou 2,53 cm.ano⁻¹ em árvores de *Araucaria angustifolia* de 1 a 6 anos ou em experimentos de plantio relatados por Carvalho (2002), com incremento médio variando de 1,5 a 2,0 cm em diferentes plantios a partir do quinto ano.

Em ambiente de floresta natural é esperado que o incremento seja inferior ao potencial máximo da espécie, em virtude das condições de competição e crescimento específicas de cada local. Stepka (2012), avaliando árvores nativas de *Araucaria angustifolia* em seis diferentes locais, encontrou incremento médio anual de 0,44 cm.ano⁻¹ e Mattos *et al.* (2010) observou incremento periódico anual nos últimos 20 anos de 0,53 cm.ano⁻¹. Esses resultados são mais próximos aos observados para as árvores em condições de maior competição (Classe 1 e 2), que em média atingiram 0,46 a 0,57 cm.ano⁻¹.

O incremento médio da classe 3 indica o potencial de crescimento de *Araucaria angustifolia* no local de estudo, uma vez que um incremento médio atingido foi maior do que 1,5 cm para as árvores de melhor desempenho. As diferenças de incremento médio entre as classes de diâmetro atual se mantiveram ao longo do ciclo do povoamento, mostrando que apesar das plantas iniciarem o desenvolvimento com

incremento médio semelhante, os padrões de crescimento em uma mesma classe de diâmetro atual se mantiveram sem alteração ao longo do ciclo do povoamento.

Essa falta de manejo comprometeu o desenvolvimento do povoamento de acordo com o potencial de crescimento, resultando no que se observa hoje no local, que são árvores com incremento muito inferior ao potencial da espécie, apresentando dap entre 10 e cerca de 70 cm.

3.1 EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO

Na TABELA 5.4 estão apresentadas as estimativas dos parâmetros e também os valores de R^2_{ajustado} , S_{yx} e $S_{yx}\%$ para cada classe de diâmetro atual considerada e para o conjunto de árvores, para os modelos de crescimento testados para variável diâmetro. Todas as estimativas dos parâmetros foram significativas a 95% de probabilidade pelo teste t .

TABELA 5.4 - PARÂMETROS E ESTATÍSTICAS OBTIDAS PARA ESTIMAR O CRESCIMENTO EM DIÂMETRO

Regeneração						
Modelos	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	R^2_{ajust}	S_{yx} (cm)	$S_{yx}(\%)$
Bertalanffy	23,6287*	0,1297*		0,56	5,16	29,01
Chapman-Richards	30,0000*	0,0425*	0,9880*	0,57	5,09	28,64
Gompertz	25,1607*	0,8880*	0,0971*	0,58	5,04	28,37
Logística	24,6552*	5,4617*	0,1306*	0,57	5,06	28,45
Mitcherlich	26,5948*	1,1008*	0,0599*	0,57	5,05	28,43
Schumacher	31,1471*	10,9055*		0,57	5,08	28,60
Classe 1 (10-30 cm)						
Modelos	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	R^2_{ajust}	S_{yx} (cm)	$S_{yx}(\%)$
Bertalanffy	26,4954*	0,1110*		0,85	2,67	12,79
Chapman-Richards	30,0000*	0,0481*	1,0866*	0,90	2,10	10,09
Gompertz	29,1575*	0,7047*	0,0681*	0,90	2,15	10,33
Logística	28,3248*	4,2363*	0,0932*	0,89	2,23	10,68
Mitcherlich	31,2187*	1,0009*	0,0416*	0,91	2,09	10,03
Schumacher	34,3350*	12,3756*		0,89	2,23	10,68
Classe 2 (30-50 cm)						
Modelos	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	R^2_{ajust}	S_{yx} (cm)	$S_{yx}(\%)$
Bertalanffy	37,0443*	0,0902*		0,80	4,30	15,14
Chapman-Richards	50,0000*	0,0241*	0,8882*	0,85	3,67	12,92
Gompertz	41,9414*	0,7227*	0,0541*	0,85	3,72	13,10
Logística	40,1707*	4,4501*	0,0769*	0,84	3,79	13,33
Mitcherlich	46,6049*	0,9936*	0,0302*	0,85	3,67	12,91
Schumacher	49,3081*	15,8626*		0,84	3,87	13,60
Classe 3 (50-70 cm)						
Modelos	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	R^2_{ajust}	S_{yx} (cm)	$S_{yx}(\%)$
Bertalanffy	51,1319*	0,0945*		0,75	6,32	15,55
Chapman-Richards	60,0000*	0,0348*	0,9530*	0,84	4,99	12,28
Gompertz	61,8087*	0,5380*	0,0430*	0,85	4,90	12,07
Logística	58,5056*	3,3918*	0,0622*	0,85	4,94	12,17
Mitcherlich	70,1287*	0,9035*	0,0233*	0,85	4,75	11,69
Schumacher	66,2250*	14,3367*		0,81	5,45	13,41
Todas (10-70 cm)						
Modelos	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	R^2_{ajust}	S_{yx} (cm)	$S_{yx}(\%)$
Bertalanffy	38,1366*	0,0888*		0,65	6,56	22,84
Chapman-Richards	60,0000*	0,0161*	0,7934*	0,71	5,98	20,84
Gompertz	45,4264*	0,6799*	0,0471*	0,70	6,04	21,02
Logística	42,9503*	4,2421*	0,0688*	0,70	6,08	21,18
Mitcherlich	52,3016*	0,9619*	0,0245*	0,71	5,36	18,67
Schumacher	50,8381*	16,1115*		0,69	6,20	21,59

Em que: * significativo pelo teste F a 95% de probabilidade.

FONTE: O autor (2015)

De um modo geral, os maiores erros ocorreram para a classe de regeneração, visto que são árvores de diferentes idades, que cresceram sob intensa competição. Quando essas árvores se estabeleceram o dossel já estava dominado e, por isso, não seguem um mesmo padrão de crescimento. Erros altos também são observados no ajuste quando utilizadas todas as árvores, resultado da grande variabilidade dos dados.

O modelo de Mitcherlich resultou em equações de menores erros para todas as classes, apesar de que dentro de uma mesma classe os erros cometidos nas equações ajustadas foram próximos. No entanto, o modelo de Schumacher foi selecionado para todas as classes avaliadas, mesmo não apresentando os menores erros, por apresentar melhor distribuição dos resíduos (FIGURA 5.3).

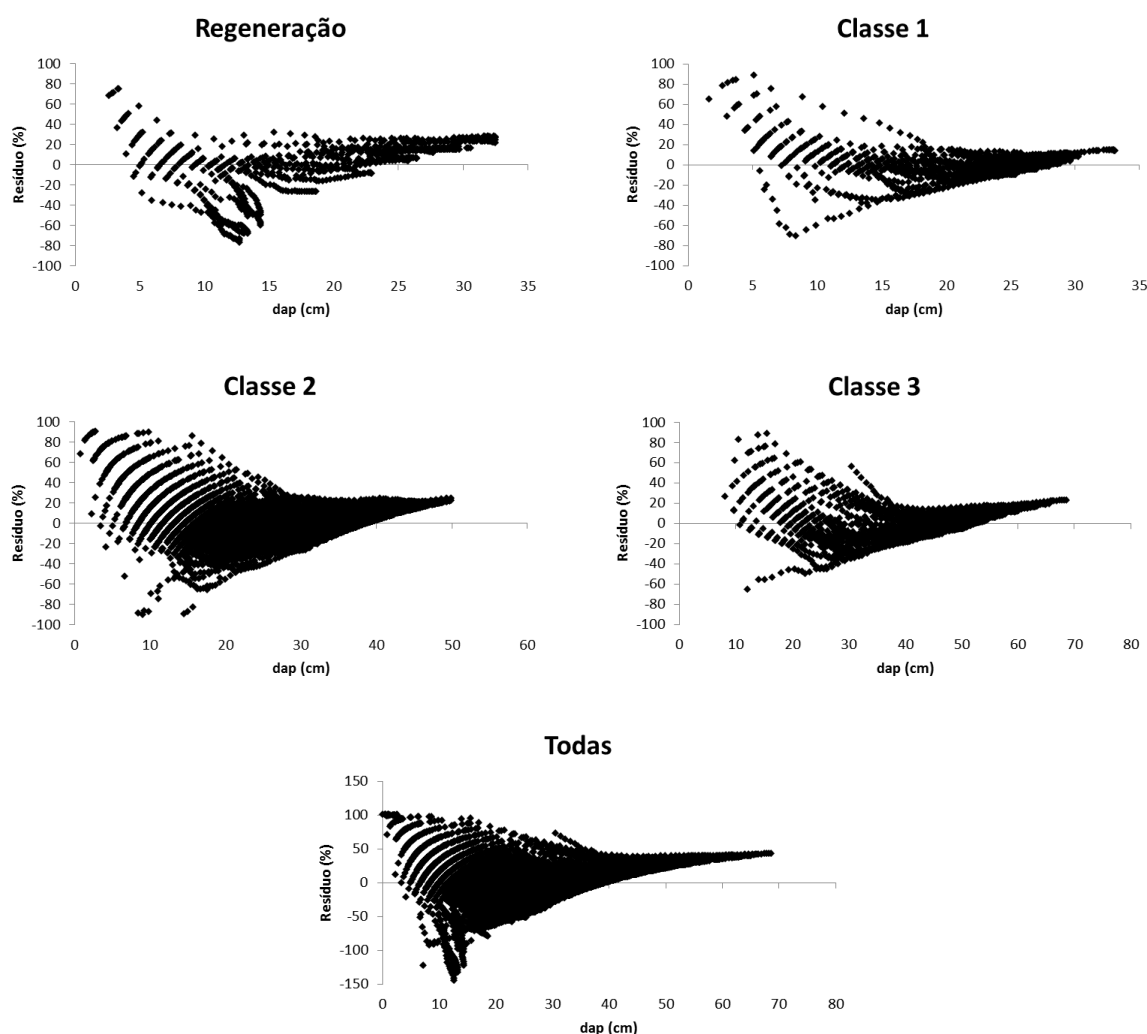


FIGURA 5.3 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PARA O MODELO DE SCHUMACHER AJUSTADO PARA O CRESCIMENTO EM DIÂMETRO NAS CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL: 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm), 3 (50-70 cm) REGENERAÇÃO (10-30 cm) E PARA TODAS AS CLASSES

FONTE: O autor (2015)

Com os dados de crescimento estimados pela equação de Schumacher, foram ajustadas curvas de crescimento para cada uma das classes avaliadas (FIGURA 5.4).

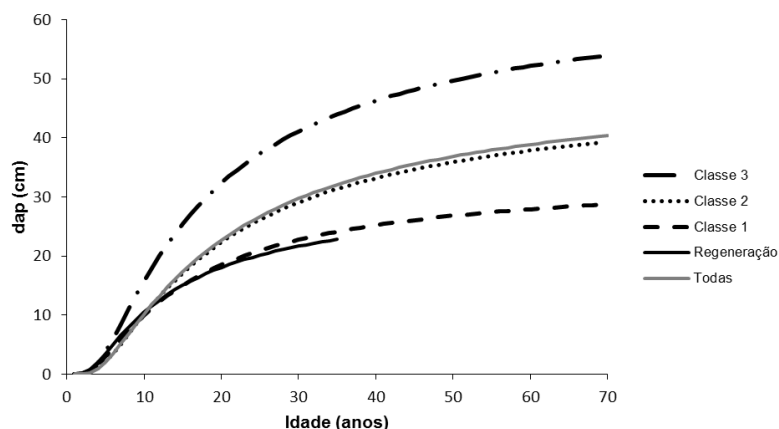


FIGURA 5.4 - CURVAS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO ESTIMADAS PELA EQUAÇÃO DE SCHUMACHER NAS CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL: 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm), 3 (50-70 cm), REGENERAÇÃO (10-30 cm) E PARA TODAS AS CLASSES

FONTE: O autor (2015)

Conforme observado na FIGURA 5.4, o crescimento em diâmetro tende ao valor assintótico. É possível notar graficamente também que, nas condições atuais, o crescimento diamétrico entre as classes é bastante distinto.

Para confirmar a diferença entre as curvas ajustadas para as classes 3, 2, 1 e regeneração, foi realizado teste de identidade entre modelos, conforme proposto por Graybill (1976). O resultado para as possíveis combinações encontra-se apresentado na TABELA 5.5.

TABELA 5.5 - TESTE DE IDENTIDADE ENTRE MODELOS DE CRESCIMENTO

Combinações	Modelos completos	Modelo reduzido	F
1	3+2+1+R	(321R)	241,58*
2	3+2+1	(321)	204,59*
3	3+2+R	(32R)	309,37*
4	3+1+R	(31R)	177,27*
5	2+1+R	(21R)	259,50*
6	3+2	(32)	218,54*
7	3+1	(31)	238,38*
8	3+R	(3R)	296,65*
9	2+1	(21)	187,51*
10	2+R	(2R)	434,79*
11	1+R	(1R)	41,74*

Em que: * e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste F de Graybill, a 95% de probabilidade, respectivamente. 1 = Classe 1 (10-30 cm), 2 = Classe 2 (30-50 cm), 3 = Classe 3 (50-70 cm) e R = regeneração.

FONTE: O autor (2015)

Com base no teste de identidade entre modelos, foi possível verificar a distinção entre o crescimento das diferentes classes de diâmetro atual, uma vez que o resultado significativo implica na diferença entre as curvas. Isso reforça a importância de se definir modelos distintos por classe diamétrica, para se obter o modelo que melhor represente o crescimento das árvores do povoamento.

Pela análise da curva de crescimento das árvores de regeneração (FIGURA 5.4), supõe-se que a abertura de clareiras possibilitou o rápido crescimento inicial das árvores, semelhante ao observado nas demais árvores estabelecidas no início do povoamento. No entanto, à medida que crescem, o espaço disponível fica reduzido, restringindo o seu desenvolvimento e resultando na estagnação das árvores.

Isto sugere que a resposta de crescimento arbóreo a distúrbios naturais ou antropogênicos diminui conforme aumenta o diâmetro das árvores (AAKALA *et al.*, 2013).

Ainda com base nas curvas de crescimento geradas (FIGURA 5.4), nota-se que a partir dos 5 anos as árvores da classe 3 já se destacavam em termos de crescimento, atingindo a partir dos 10 anos incrementos médios significativamente diferentes das demais classes (TABELA 5.6). Aos 10 anos as árvores das classes 2 e 1 também começam a se diferenciar. Assim, a partir dessa idade, já poderia haver identificação das árvores em desvantagem em termos de competição, sendo essas selecionadas para um possível manejo.

De modo a comprovar essas afirmações, foi realizado o ajuste dos modelos para os 5, 10 e 20 primeiros anos do povoamento. Uma vez que as árvores oriundas de regeneração ainda não haviam se estabelecido no povoamento, essa análise foi realizada apenas para as árvores das classes 3, 2 e 1, com idades originais do povoamento (TABELA 5.6).

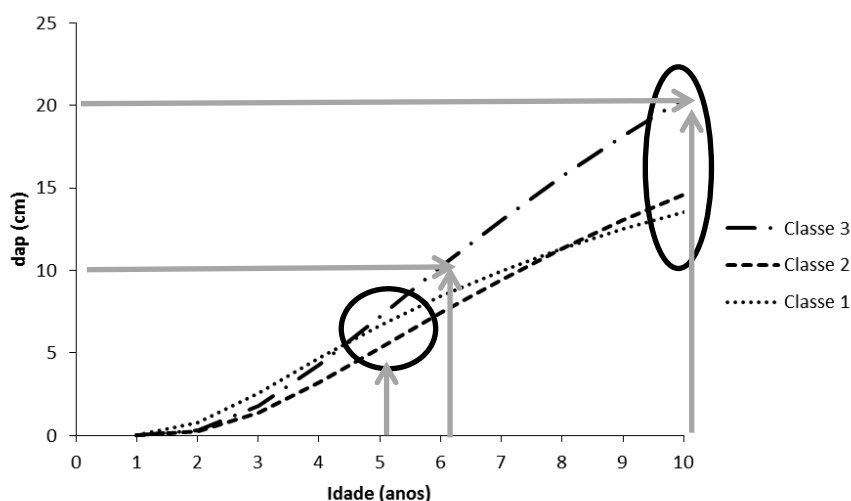
TABELA 5.6 - TESTE DE IDENTIDADE ENTRE MODELOS DE CRESCIMENTO PARA O POVOAMENTO AOS 10 E 20 ANOS DE IDADE

Combinações	Modelos completos	Modelo reduzido	F (5 anos)	F (10 anos)	F (20 anos)
1	3+2+1	(321)	4,46 ^{ns}	26,54*	53,15*
2	3+2	(32)	-	46,28*	68,37*
3	3+1	(31)	-	30,63*	72,85*
4	2+1	(21)	-	0,242 ^{ns}	26,71 ^{ns}

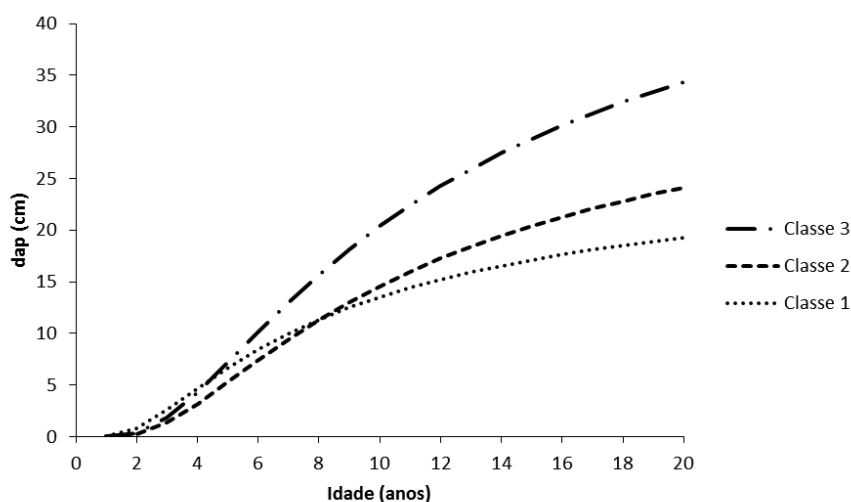
Em que: * e ^{ns}: significativo e não significativo pelo teste F de Graybill, a 95% de probabilidade, respectivamente. 1 = Classe 1 (10-30 cm), 2 = Classe 2 (30-50 cm), e 3 = Classe 3 (50-70 cm).

FONTE: O autor (2015)

Pelo teste de identidade entre modelos, para o crescimento até os 5 anos, é possível notar igualdade estatística de crescimento entre as três classes de diâmetro atual. Aos 10 anos é possível notar igualdade estatística de crescimento entre as classes 2 e 1, de modo a verificar que essas duas classes ainda não haviam se diferenciado na idade avaliada. Já a classe 3 apresentava crescimento diferente (superior) às demais. Aos 20 anos a igualdade estatística entre as curvas de crescimento da classes 2 e 1 se manteve, de modo que possa ser sugerido um desbaste bem sucedido ainda nesse período. Na FIGURA 5.5A é possível notar com mais detalhe, como as curvas de crescimento eram próximas nos primeiros anos de desenvolvimento do povoamento.



A



B

FIGURA 5.5 - CURVAS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO ESTIMADAS PELA EQUAÇÃO DE SCHUMACHER PARA AS CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL: 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm), 3 (50-70 cm) AOS 10 ANOS (A) E AOS 20 ANOS (B) DE IDADE DO POVOAMENTO

FONTE: O autor (2015)

3.2 TEMPO DE PASSAGEM POR CLASSE DIAMÉTRICA

Para definir o tempo de passagem (FIGURA 5.6) foi considerada a equação de crescimento de Schumacher ajustada apenas para a classe de maior crescimento diamétrico do povoamento, a fim de mostrar o potencial da espécie na área em estudo.

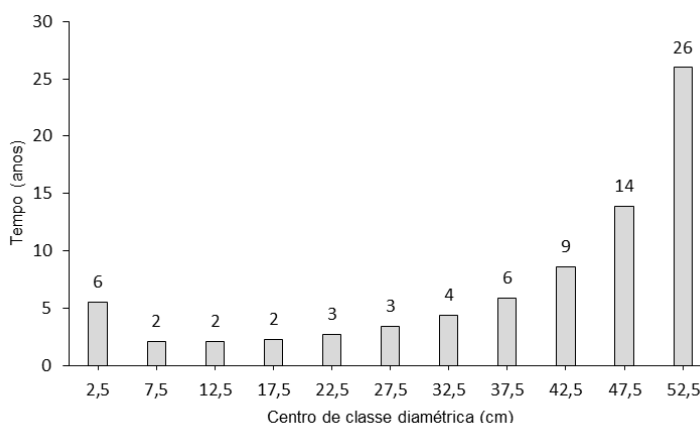


FIGURA 5.6 - TEMPO DE PASSAGEM ENTRE CLASSES DIAMÉTRICAS
FONTE: O autor (2015).

É possível observar que o tempo de passagem entre classes tende a aumentar à medida que se aumenta a classe de diâmetro, exceto para a primeira classe diamétrica (centro de 2,5 cm). Possivelmente, a tendência em aumentar o tempo de passagem é devida à alta competição exercida ao longo do tempo, uma vez que não houve manejo e liberação de espaço para a recuperação do crescimento.

3.3 EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO EM VOLUME

Como resultado do ajuste de equações para crescimento volumétrico em cada classe diamétrica considerada, estão apresentadas as estimativas dos parâmetros e também os valores de R^2_{ajustado} , $S_{yx}\%$ apenas para o modelo de Schumacher, selecionado como o melhor modelo (TABELA 5.7). As estimativas dos parâmetros foram significativas a 95% de probabilidade pelo teste t . Uma vez que as árvores oriundas de regeneração não apresentam idade compatível com as demais, esta foi

desconsiderada na presente análise. As curvas de crescimento em volume para todas as classes avaliadas estão apresentadas na FIGURA 5.7.

TABELA 5.7 - PARÂMETROS E ESTATÍSTICAS PARA ESTIMAR O CRESCIMENTO EM VOLUME DE *Araucaria angustifolia*

Classe	Modelo	Volume				
		$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	R^2_{ajust}	S_{yx} (m ³)	S_{yx} (%)
1 (10-30 cm)	Schumacher	1,7234	57,1841	0,91	0,07	25,33
2 (30-50 cm)	Schumacher	4,9742	68,8565	0,82	0,26	38,93
3 (50-70 cm)	Schumacher	10,7253	67,1427	0,86	0,50	33,87

FONTE: O autor (2015)

Aos 65 anos, aplicando-se as equações de volume selecionadas, nota-se em média um volume individual de 3,82 m³, 1,72 m³, 0,72 m³, para as classes 3, 2 e 1, respectivamente. Era esperado que, se o manejo tivesse sido conduzido para a obtenção do potencial de crescimento máximo das árvores, o crescimento volumétrico fosse superior ao observado, uma vez que mesmo em condições de competição, árvores da maior classe resultaram em volume individual maior que o dobro do volume individual de árvores da classe de diâmetro intermediária.

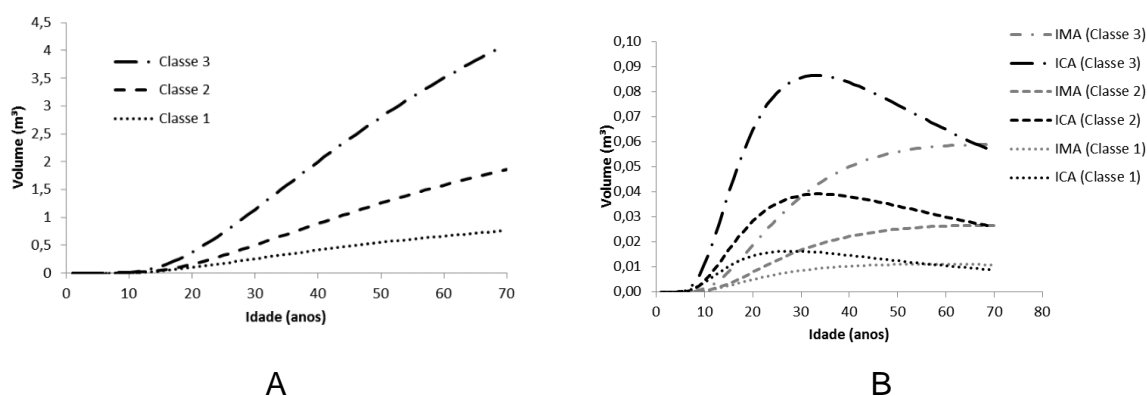


FIGURA 5.7 - CURVAS DE CRESCIMENTO EM VOLUME (m³) (A) E DE INCREMENTO (B) PARA CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL: 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm), 3 (50-70 cm)

FONTE: O autor (2015)

Avaliando-se o crescimento volumétrico (FIGURA 5.7), nota-se que para as classes 2 e 3, não foi atingido o valor assintótico, dessa maneira o cruzamento das curvas de IMA e ICA ocorreria aos 66 anos, com 0,0587 m³.ano⁻¹, e 68 anos, com 0,0266 m³.ano⁻¹, respectivamente. A classe 1 atingiu seu máximo incremento médio aos 56 anos, com 0,0111 m³.ano⁻¹.

Os resultados obtidos nesse trabalho ainda são superiores aos observados em condições naturais, em diferentes remanescentes florestais. Hess e Schneider (2010), estudando o crescimento de *Araucaria angustifolia* em três regiões, demonstram incremento médio anual máximo em volume de $0,0311 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, aos 56 anos na Serra do Sudeste; de $0,0198 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$ aos 46 anos no Planalto Médio, e de $0,026 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$ aos 48 anos de idade na Encosta Superior do Nordeste. No entanto, Kohler *et al.* (2009), avaliando um plantio de *Araucaria angustifolia* aos 55 anos, verificaram que o valor assintótico para o volume não foi atingido, semelhante ao observado para o plantio superestocado na Flona de Açungui.

Na atual situação do povoamento, observa-se volume igual a $434,7 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, resultando em um incremento volumétrico de $6,7 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (Capítulo II), o que é muito inferior à capacidade produtiva da espécie (WEBB *et al.*, 1984).

Em uma situação hipotética, caso o povoamento fosse resultante de intervenções de desbaste/manejo conduzidas adequadamente ao longo dos 65 anos, utilizando como referência a equação de crescimento em diâmetro de Schumacher para árvores da maior classe, teríamos um diâmetro médio de, no mínimo, 53 cm. Nesse caso, de acordo com o espaço vital disponível, o povoamento teria em média 101 árvores. ha^{-1} (Capítulo I). Com esse diâmetro médio de 53 cm, cada árvore teria altura de 23,8 m (obtida com a relação hipsométrica resultante do Capítulo II) e volume individual médio de pelo menos $3,11 \text{ m}^3$ (aplicando-se a equação de volume da classe 3), totalizando $314,1 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ ($3,11 \text{ m}^3 * 101 \text{ árvores}.\text{ha}^{-1} = 314,1 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$).

Quando comparamos o volume de madeira disponível no povoamento superestocado atual ($434,7 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$), com a situação hipotética sob manejo conduzido para formação de toras ($314,1 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$), após 65 anos o volume total final é maior no povoamento superestocado. No entanto, 77,2% dessa madeira estão concentrados em diâmetros menores do que 50 cm. Assim, ao considerarmos apenas as árvores com o diâmetro mínimo para comercialização de 50 cm de dap (classe 3), com maior valor agregado, observamos no povoamento superestocado apenas 27 árvores. ha^{-1} , totalizando aproximadamente $99 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$. Com a condução de desbaste hipotética, teríamos 80 árvores. ha^{-1} com diâmetros maiores que 50 cm, resultando em um volume de madeira comercializável equivalente aos $314,1 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$. Além disso, deve-se pensar que com a adequada condução de desbaste, os volumes retirados parcialmente até os 65 anos também poderiam ser comercializados.

3.4 ANÁLISE RETROSPECTIVA DA COMPETIÇÃO

As correlações significativas entre os índices de competição e a variação do incremento diamétrico ao longo dos anos (TABELA 5.8) sugerem que as condições da vizinhança entre árvores descrevem boa parte dos seus crescimentos, conforme demonstrado por Fraver *et al.* (2014).

TABELA 5.8 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE OS INCREMENTOS PARA DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL E OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO

Índice de Competição	Incremento até os 65 anos	Incremento dos últimos 35 anos	Incremento dos últimos 10 anos
Independente da distância - Stage (1973)			
Classe 1 (10-30 cm)	0,577*	0,882*	0,865*
Classe 2 (30-50 cm)	0,643*	0,852*	0,924*
Classe 3 (50-70 cm)	0,645*	0,852*	0,734*
Dependente da distância - Moore <i>et al.</i> (1973)			
Classe 1 (10-30 cm)	0,771*	0,858*	0,835*
Classe 2 (30-50 cm)	0,554*	0,844*	0,947*
Classe 3 (50-70 cm)	0,589*	0,526*	0,498*

Em que: *significativos a 95% de probabilidade.

FONTE: O autor (2015)

O incremento dos últimos 35 anos reflete o período pós-desbaste, e uma vez que a correlação foi significativa com os índices de competição utilizados para as três classes de diâmetro atual avaliadas, sugere-se que os índices captaram as alterações do ritmo de incremento.

Avaliando a evolução dos índices independente (STAGE, 1973) e dependente da distância (MOORE *et al.*, 1973) ao longo do tempo para árvores representativas das classes de diâmetro atual 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm) e 3 (50-70 cm) (FIGURA 5.8) é possível notar para ambos índices que a árvore da maior classe (50-70 cm) apresenta valores distintos, refletindo menor competição.

As árvores da classe 1 e 2 apresentaram valores muito próximos quando considerado o índice de Stage (1973), no entanto o índice de Moore *et al.* (1973) foi mais sensível para detectar diferenças de competição. Observa-se pela FIGURA 5.8B que a árvore da classe 2 apresentou índice de competição muito mais próximo a árvore da classe 3, até próximo dos 35 anos. Nesse período o povoamento sofreu

desbaste e, possivelmente, a árvore da classe 2 foi menos beneficiada que sua competidora, resultando em aumento da competição. Nas demais situações, classe 1, 2 e 3 do índice independente da distância, e classe 1 e 3 do índice dependente da distância, o nível de competição parece ter se mantido estável ao longo dos anos, ou seja, não diretamente afetado pelo desbaste.

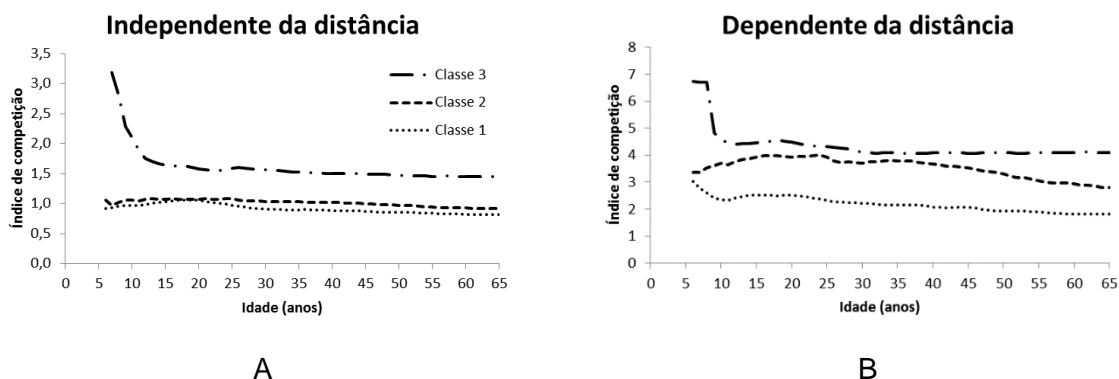


FIGURA 5.8 - EVOLUÇÃO DA COMPETIÇÃO ENTRE ÁRVORES EM DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO ATUAL: 1 (10-30 cm), 2 (30-50 cm), 3 (50-70 cm)
 FONTE: O autor (2015)

A maior sensibilidade do índice dependente da distância para refletir diferentes níveis de competição indica que, além dos diâmetros das árvores vizinhas, as distâncias entre as competidoras e a árvore objetivo devem ser observadas. Isso está de acordo com Daniels (1976); Mugasha (1989) e Contreras *et al.* (2011), que também indicam como preferível um modelo individual espacial para descrever a competição entre árvores. Segundo Cole e Lorimer (1994) e Zhao *et al.* (2004) isso se mostra mais evidente, principalmente em povoamentos mistos, que possuem ampla diversidade de espécies e tamanhos, apresentando estruturas mais complexas de competição.

O melhor desempenho do índice de competição de Moore *et al.* (1973) neste estudo foi devido, possivelmente, por se tratar de povoamento superestocado com características de estrutura horizontal complexa, quando comparado a um povoamento com desbastes regulares. A evolução para esse quadro é atribuído à abertura de clareiras durante um único desbaste conduzido após 30 a 40 anos da implantação e a mortalidade natural, que por sua vez resultaram em ingresso por regeneração natural, levando à situação que se observa hoje de povoamento com espaçamentos irregulares e árvores com idades diferentes, além da presença de árvores de outras espécies.

4 CONCLUSÕES

O crescimento de *Araucaria angustifolia* no povoamento em estudo pode ser diferenciado em grupos distintos, ou seja, em classes 1 (de 10-30 cm), 2 (30-50 cm), 3 (50-70 cm) e oriundas de regeneração.

Árvores oriundas de regeneração apresentam crescimento semelhante ao que foi verificado no início do povoamento, assim, logo que é dado espaço pela abertura de clareiras, há significativo crescimento. No entanto, quando não é mais disponibilizado espaço, elas não mais conseguem se desenvolver.

O incremento médio de todas as árvores estabilizou a partir do diâmetro de 30 cm, mostrando os efeitos da competição próprios de um povoamento superestocado.

O crescimento até atingir 5 anos foi estatisticamente igual nas classes 1, 2 e 3, mostrando que identificar com precisão árvores que seriam futuramente suprimidas de modo a eliminá-las em um desbaste, ainda não teria sido possível, quando considerado apenas a variável incremento em diâmetro.

O crescimento até os 20 anos foi estatisticamente igual entre as classes de diâmetro atual 1 e 2 (10-50 cm). Considerando-se que essas duas classes ainda não haviam se diferenciado, deduz-se que um desbaste naquele período ainda poderia ser bem sucedido.

Em uma situação onde o povoamento fosse resultante de intervenções de manejo adequadas ao longo dos 65 anos, o volume médio.ha⁻¹ remanescente na referida idade seria de 314,1 m³.ha⁻¹, que quando comparado ao volume de madeira disponível no povoamento superestocado atual (434,7 m³.ha⁻¹), resultaria em volume total menor, no entanto, com apenas 22,8% de madeira concentrados em diâmetros maiores do que 50 cm.

Os índices de competição captaram as alterações do ritmo de crescimento, sendo evidente no período pós-desbaste, de modo que a análise retrospectiva com base nas condições da vizinhança entre árvores descrevem boa parte dos seus crescimentos.

O índice dependente da distância refletiu melhor a competição sofrida pelas árvores, de modo que além dos diâmetros das árvores vizinhas, a distância entre a competidora e a árvore objetivo deve ser observada.

5 RECOMENDAÇÕES

A condução de desbaste deveria começar antes do efeito da competição comprometer o crescimento das árvores com bom desenvolvimento inicial, caracterizado aqui pelo desenvolvimento semelhante até os 20 anos das árvores com diâmetros atuais variando de 10 a 50 cm (classes 1 e 2).

Uma vez que o índice de competição dependente da distância refletiu melhor a competição sofrida pelas árvores, este deve ser considerado quando se pretende fazer a predição de crescimento com base em modelos de árvores individuais.

REFERÊNCIAS

- AAKALA, T.; FRAVER, S.; D'AMATO, A. W.; PALIK, B. J. Influence of competition and age on tree growth in structurally complex old-growth forests in northern Minnesota, USA. **Forest Ecology and Management**, v. 308, p. 128-135, 2013.
- ALEMDAG, I. S. National site-index and height-growth curves for white spruce growing in natural stands in Canada. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 21, n.10, p.1466-1474, 1991.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- BELLA, I. E. A new competition model for individual trees. **Forest Science**, v. 17, n. 3, p. 364-372, 1971.
- CARVALHO, P. E. R. **Pinheiro-do-paraná**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2002. 17 p. (Embrapa Florestas. Circular Técnica 60).
- CHATURVEDI, A. N.; KHANNA, L. S. **Forest mensuration**. Dehra Dun: International Book Distributors, 1982. 406 p.
- CHERUBINI, P.; GARTNER, B. L.; TOGNETTI, R.; BRAKER, O. U.; SCHOCH, W.; INNES, J. L. Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. **Biological Reviews**, v. 78, p. 119-148, 2003.
- COLE, W. G.; LORIMER, C. G. Predicting tree growth from crown variables in managed northern hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, v. 67, p. 159-175, 1994.
- CONTRERAS, M. A; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**. v. 262, p. 1939-1949, 2011.
- DANIELS, R. F. Simple Competition Indices and Their Correlation with Annual Loblolly Pine Tree Growth. **Forest Science**, v. 22, n. 4, p. 454-456, 1976.
- DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal Forest Research**, Vancouver, v. 16, p. 1230-1237, 1986.
- FONTI, P.; CHERUBINI, P.; RIGLING, A.; WEBER, P.; BIGING, G. Tree rings show competition dynamics in abandoned *Castanea sativa* coppices after land-use changes. **Journal of Vegetation Science**, v. 17, p. 103-112, 2006.
- FRAVER, S.; D'AMATO, A. W.; BRADFORD, J. B.; JONSSON, B. G.; JÖNSSON, M.; ESSEEN, P-A. Tree growth and competition in an old-growth *Picea abies* forest of

boreal Sweden: influence of tree spatial patterning. **Journal of Vegetation Science**, v. 25, p. 374-385, 2014.

GRAYBILL, F. A. **Theory and Application of the Linear Model**. Belmont: Duxbury Press, 1976. 704p.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento em volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três regiões do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 107-122, 2010.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin**, v. 43, p. 69-78, 1983.

HUSCH, B.; MILLER, I. C.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York: John Wiley, 1982. 402 p.

JOHNSON, J. E.; SMITH, D. W. **Principles of Regeneration Silviculture in Virginia**. Virginia Cooperative Extension, 2009. 20p.

KOHLER, S. V.; FIGUEIREDO F, A.; FELDE, J. L.; DIAS, A. N. Crescimento e Produção em Plantios de *Araucaria angustifolia* (Bertol) O. Kutze. no Centro-sul do Paraná.. In: XVIII Encontro Anual de Iniciação Científica, 2009, Londrina. **Anais... XVIII EAIC**, 2009.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. 2nd. ed. San Diego : Academic Press, 1997. 411 p.

KRAMER, P. J.; KOSLOWSKI T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1960. 745 p.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do município de Candói, PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 153-156, 2007a. Nota científica.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Crescimento de *Araucaria angustifolia* na Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 55, p. 107-114, 2007b. Nota científica.

MATTOS, P. P.; OLIVEIRA, M. F.; AGUSTINI, A. F.; BRAZ, E. M.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Aceleração do crescimento em diâmetro de espécies da Floresta Ombrófila Mista nos últimos 90 anos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 319-326, 2010.

MOORE, J. A.; BUDELSKY, C. A.; SCHLESINGER, R. C. A New Index Representing Individual Tree Competitive Status. **Canadian Journal Forest Research**, v. 3, n. 4, p. 495-500, 1973.

MUGASHA, A. G. Evaluation of simple competition indices for the prediction of volume increment of young jack pine and trembling aspen trees. **Forest Ecology and Management**, v. 26, p. 227-235, 1989.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze**: Bases de dendrocronologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil. Porto Alegre, 139 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

OLIVEIRA, M. F.; MATTOS, P. P. Crescimento de *Drimys brasiliensis* na Floresta Ombrófila Mista, Colombo, PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 61, p. 79-83, 2010. Nota científica.

RADTKE, P. J.; WESTFALL, J. A.; BURKHART, H. E. Conditioning a distance dependent competition index to indicate the onset of inter-tree competition. **Forest Ecology and Management**, v. 175, p. 17-30, 2003.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 1, p. 1-17, 1996.

RINN, F. **TSAP, version 3.0, reference manual**: computer program for tree ring analysis and presentation. Heidelberg: Dipl.- Phys., 1996. 263 p.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; VULCANIS, L.; BERNI, D. M. Sobrevivência de mudas de *Araucaria angustifolia* perante o controle de taquaras (Bambusoideae) no Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n.1, p. 127-135, 2005.

SANTOS, A. T.; CANETTI, A.; RUY, C. C.; SILVA, M. A.; RICKEN, P.; DOMENE, V. D.; OLIVEIRA, M. F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P. Crescimento de espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista, Caçador, SC. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 5., 2011, Santa Maria. Sustentabilidade florestal: **Anais...** Santa Maria: UFSM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2011, p. 996-1004.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2ª ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA FILHO, A. T. Modelo de produção para floresta nativa como base para manejo sustentado. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, 1996.

SEITZ, R. A.; KANNINEN, M. Tree ring analysis of *Araucaria angustifolia* in Southern Brazil: preliminary results. **IAWA Bulletin**, v. 10, n. 2, p. 170-174, 1989.

SPIECKER, H. Tree rings and forest management in Europe. **Dendrochronologia**, v. 20, n. 1-2, p. 191-202, 2002.

STAGE, A. R. **Prognosis model for stand development**. USDA Forest Service: Research Paper INT-137. June, 1973.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests** Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.

WEBB, D.B.; WOOD, P.J.; SMITH, J.P.; HENMAN, G.S. **A guide to species selection for tropical and subtropical plantations**. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1984. 2ed. 256p. (Tropical Forestry Papers, 15).

WIMBERLY, M. C.; BARE, B. B. Distance-dependent and distance-independent models of Douglas-fir and western hemlock basal area growth following silvicultural treatment. **Forest Ecology and Management**, v. 89, p. 1-11, 1996.

ZAMIN, N. T. **Modelagem da produção mensal de indivíduos de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* com inclusão de variáveis meteorológicas**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ZHAO, D.; BORDERS, B.; WILSON, M. Individual-tree diameter growth and mortality models for bottomland mixed-species hardwood stands in the lower Mississippi alluvial valley. **Forest Ecology and Management**, v. 199, p. 307-322, 2004.

CAPÍTULO VI

ALTERNATIVAS PARA O MANEJO DA FLORESTA NACIONAL DE AÇUNGUI

RESUMO

A partir da avaliação das condições de competição em povoamentos de *Araucaria angustifolia* na Floresta Nacional de Açungui, obtidas pelas diferentes abordagens desenvolvidas nos capítulos anteriores, foram feitas considerações sobre a condução do povoamento atual, aplicando-se estratégias de manejo voltadas para finalidades distintas. No entanto, não se pretende esgotar todas as possibilidades, mas sim destacar alternativas que deveriam ser consideradas na estruturação do plano de manejo da área. Para a restauração em Floresta Ombrófila Mista (FOM) ou o manejo das áreas com florestas de produção, será necessário definir os objetivos específicos da unidade, seu zoneamento e uso proposto para a elaboração do plano de manejo de qualquer Floresta Nacional. Sugere-se que a área seja dividida em unidades de produção anual e que diferentes alternativas de desbaste sejam realizadas e monitoradas. Tal monitoramento deve ser acompanhado da avaliação das condições da vizinhança entre árvores, uma vez que os índices de competição captaram alterações no ritmo de crescimento. Informações relevantes foram obtidas com relação ao entendimento da dinâmica de crescimento de *Araucaria angustifolia* em condições de alta competição, com a identificação de lacunas que ainda devem ser preenchidas e do grande potencial de manejo da espécie. A região da floresta Nacional de Açungui apresenta aptidão florestal, com terreno muito acidentado, e por esse motivo, deve-se priorizar a manutenção de florestas. Aliado a isso, a implantação de novos povoamentos de *Araucaria angustifolia* possibilitarão estabelecer indicadores para avaliar a efetividade do manejo e da proteção da FOM e ecossistema associado, de modo a preencher as lacunas existentes quanto ao desenvolvimento da floresta e, futuramente, dar suporte às mudanças na legislação ambiental no que se refere ao manejo de *Araucaria angustifolia*.

Palavras-chave: Plano de manejo; unidades de produção anual; desbaste.

CHAPTER VI

ALTERNATIVES FOR THE MANAGEMENT OF THE AÇUNGUI NATIONAL FOREST

ABSTRACT

From the assessment of the competition conditions in *Araucaria angustifolia* stands in Açungui National Forest, obtained by the different approaches developed in the previous chapters, considerations were made about the management of the current stands, applying management strategies for different purposes. However, it was not the intention to exhaust all the possibilities, but instead to emphasize management alternatives that should be considered in structuring the management plan for the area. To restore as Araucaria Forest or manage as production forests, it will be necessary to define specific objectives of the forest unit, its zoning and use purpose to elaborate the management plan for any National forest. It is suggested to split the area in annual production units and to carry out and to monitor different thinning alternatives tests. Such control must be simultaneously to the evaluation of neighbor trees as the competition indices captured the growth rhythms changes. Relevant information concerning the understanding of *Araucaria angustifolia* growth under high competition was obtained, making possible the identification of many gaps that still must be filled and also the evidence of the great potential of the species management. The region of National Forest of Açungui presents land capability for forest, with sloped landscape, so the maintenance of the forests should be a priority. Beyond that, the establishment of new *A. angustifolia* stands will make possible the definition of indicators to evaluate the effectiveness of management and protection of the Araucaria Forest and associate ecosystems to fulfill the gaps concerning the forest and, in the future, to give support to changes in the environmental legislation concerning *Araucaria angustifolia* management.

Keywords: Management plan; annual production units; thinning.

1 INTRODUÇÃO

O manejo florestal tem como primeira ação a determinação do potencial da propriedade, identificando as principais restrições à prática da atividade florestal e, a partir daí, definir ações de produção, preservação e de conservação do recurso florestal (SCOLFORO, 1998).

É comum haver confusão entre os termos conservação e preservação, sendo muitas vezes usados para definir a mesma coisa, quando na verdade expressam ideias distintas. Na definição utilizada na Lei N° 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, conservação da natureza refere-se ao manejo do uso humano da natureza, compreendendo a manutenção, a utilização sustentável, a restauração e a recuperação do ambiente natural, para que possa produzir o maior benefício, em bases sustentáveis, às atuais gerações, mantendo seu potencial de satisfazer as necessidades e aspirações das gerações futuras, e garantindo a sobrevivência dos seres vivos em geral; e preservação, refere-se ao conjunto de métodos, procedimentos e políticas que visem à proteção em longo prazo das espécies, habitats e ecossistemas, além da manutenção dos processos ecológicos, prevenindo a simplificação dos sistemas naturais, que de forma integral, visa promover a manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais.

Dessa forma, florestas voltadas para a preservação se destinam, exclusivamente, à produção de benefícios ambientais e culturais, sendo permitida a aplicação do manejo apenas com o objetivo único de se promover a sua restauração, estando esse conceito ligado à “intocabilidade”. A preservação se faz necessária quando há risco de perda de biodiversidade, seja de uma espécie, um ecossistema ou de um bioma como um todo. Já as florestas de conservação são aquelas onde se permite a utilização direta dos recursos florestais, desde que de maneira sustentada, não comprometendo a perpetuação, ou seja, manutenção e maximização dos seus benefícios ambientais.

Com base no SNUC, as Florestas Nacionais (FLONAs) enquadram-se na categoria de Unidade de Conservação de Uso Sustentável (SNUC, 2000). Como instrumento da auto-sustentabilidade econômica das Unidades de Conservação, a lei

do SNUC prevê no artigo 5º a exploração comercial de qualquer produto elaborado a partir de recursos das unidades de conservação. Sendo assim, não há impedimento para uso dos recursos, o que amplia as possibilidades de uso sustentável dos recursos florestais em Florestas Nacionais. Para tanto, é necessário elaborar um plano de manejo para a Unidade.

Ressalta-se que as Florestas Nacionais nos Estados Unidos foram instituídas com o objetivo de criar um estoque regulador de madeira para atendimento da produção florestal de toda a população, bem como de regulação de preços da madeira no mercado consumidor, e melhorar a proteção das florestas (AHEC, 2010).

A conservação dos recursos, com a utilização racional, de forma a garantir sua sustentabilidade e existência para as futuras gerações, é o ponto chave na elaboração de um plano de manejo.

É importante salientar que, além do conhecimento e disponibilização de técnicas e ferramentas que possibilitem a elaboração de um plano de manejo sustentável e factível, observada a legislação, será necessário conhecer o potencial da área a ser explorada.

Além disso, vale lembrar que o conceito de preservação está relacionado à intocabilidade, o que é função/característica de uma unidade de conservação de proteção integral. No entanto, segundo Pires (2004), estratégias distintas devem ser adotadas para as duas modalidades de unidades de conservação, proteção integral e uso sustentável, mas com o objetivo único de manter a qualidade ambiental do Bioma Mata Atlântica com Araucária no Estado do Paraná.

Dentro dessa perspectiva, Pires (2004) salienta que as unidades de conservação de proteção integral assumem importante função, consideradas, porém, todas as limitações legais inerentes à categoria. Num primeiro momento destaca-se a função de proteção da biodiversidade e da manutenção do ecossistema integral e intacto, que deverá abrigar essencialmente matrizes genéticas, porta-sementes, como forma de reverter o processo de erosão genética de *Araucaria angustifolia* e, fundamentalmente, permanecer como testemunho cultural, histórico e científico do Bioma. Ressalta-se também a incumbência de melhoria da qualidade paisagística local.

No entanto, ações e estratégias meramente repressivas têm se mostrado insuficientes para manter os remanescentes florestais no país, uma vez que perderam significativamente sua cobertura florestal. Segundo Danner *et al.* (2012), a proibição

de uso acarreta a desvalorização econômica da espécie e a consequente perda de interesse na conservação, estimulando proprietários rurais a impedir a regeneração natural de *Araucaria angustifolia*. Assim, o grande desafio está em criar estratégias que conciliem a “preservação” ambiental ao desenvolvimento econômico e social.

No caso de florestas naturais presentes em áreas de unidades de conservação, é interessante reservar áreas a serem mantidas intocáveis, as quais deverão constituir amostra expressiva dos recursos naturais do local. No entanto, não se podem sacrificar regiões por terem conservado suas florestas sob a justificativa de que *Araucaria angustifolia* precisa ser preservada, a qualquer custo (PIRES, 2004). Assim, uma ótima opção é conduzir o uso dos recursos de florestas de Araucária de forma sustentável.

A partir da avaliação das condições de competição do povoamento, obtidas pelas diferentes abordagens desenvolvidas nos capítulos anteriores, são feitas considerações sobre a condução do povoamento atual, aplicando-se estratégias de manejo voltadas para finalidades distintas. No entanto, não se pretende esgotar todas as possibilidades, mas sim, destacar alternativas de manejo que deveriam ser consideradas na estruturação do plano de manejo da área.

2 CARACTERIZAÇÃO ATUAL DA FLORESTA NACIONAL DE AÇUNGUI

Em função do longo período sem intervenção silvicultural, são observadas no sub-bosque do povoamento diferentes espécies características da Floresta Ombrófila Mista (FOM), podendo-se citar: *Casearia sylvestris*, *Matayba elaeagnoides*, *Dalbergia brasiliensis*, *Clethra scabra*, *Casearia lasiophylla*, *Allophylus edulis* e *Cupania vernalis* (PEREIRA; MORO, 2009; MORO; PEREIRA, 2010), além de outras espécies como *Cordyline dracaenoides* (uvarana) e *Cyathea corcovadensis*. Algumas das espécies presentes na área de estudo, estão listadas como espécies ameaçadas de extinção no Estado do Paraná (Resolução SEMA/IAP nº 031, de 24 de agosto de 1998), na categoria rara: *Roupala brasiliensis* (carvalho brasileiro), *Apuleia leiocarpa* (grápia); na categoria vulnerável: *Nectandra megapotamica* (canela-imbuia), ou até mesmo na Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção (IBAMA, 1992),

como a *Dicksonia sellowiana* (xaxim), mostrando a importância ecológica ambiental da Floresta Nacional (FLONA) de Açungui.

Também foi relatada grande ocorrência de orquídeas, sendo os táxons encontrados para esta família: *Acianthera sonderana*; *Campylocentrum* sp.; *Capanemia* sp.; *Cyclopogon* sp.; *Epidendrum* sp.; *Eulophia* sp.; *Gomesa recurva*; *Govenia utriculata*; *Liparis nervosa*; *Oncidium hookeri*; *Phymatidium* sp.; *Pleurothallis crepiniana* e *Trichocentrum* sp. (PEREIRA; MORO, 2009). Baseado em observações de campo, foi possível notar no sub-bosque também a presença de espécies como *Hovenia dulcis* (Uva do Japão) e *Pinus* sp.

O plantio de *Araucaria angustifolia* na FLONA de Açungui, bem como os demais plantios estabelecidos pelo então Instituto Nacional do Pinho, tinha como objetivo a exploração madeireira para fins comerciais, sendo realizado com adensamento elevado. Atualmente, após desbaste tardio, e que foi realizado há mais de 30 anos, e provavelmente devido também à mortalidade ocasionada ao longo dos anos pela intensa competição, o povoamento em estudo encontra-se com 280 árvores de *Araucaria angustifolia* por hectare.

A maior parte do plantio se encontra em terreno com alta declividade e, por isso, com riscos de erosão (ROCHA, 1997; PIMENTEL *et al.*, 2012) e limitação ao uso de máquinas, apresentando aptidão florestal (PIMENTEL *et al.*, 2012).

3 ALTERNATIVAS PARA MANEJO DA FLORESTA NACIONAL DE AÇUNGUI

Com perspectiva de uso dos recursos de forma sustentável, o que se pretende é a proposição de alternativas técnicas para o aproveitamento dos recursos florestais, que possam ser considerados na elaboração do plano de manejo da Floresta Nacional de Açungui, bem como, em outras áreas com condições semelhantes.

3.1 RESTAURAÇÃO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (FOM)

Apesar da diversidade de espécies observadas, árvores de *Araucaria angustifolia*, que ocorrem em maior quantidade, provenientes do plantio, apresentam-se de forma homogênea no estrato emergente, e as demais espécies encontradas estão no sub-bosque.

Assim, apesar de denso, não se pode afirmar o nível de biodiversidade da área, uma vez que nenhuma análise foi realizada, sugerindo-se para transformação desse plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* em uma floresta heterogênea de modo que volte a ter características de Floresta Ombrófila Mista (FOM), com a condução de desbastes, priorizar o ingresso de espécies presentes no sub-bosque ou plantio de enriquecimento com espécies de ocorrência natural na FOM.

Em estudo realizado na FLONA de Irati, PR, cuja data de plantação dos talhões coincidem com a dos talhões da FLONA de Açungui, foi apontada uma expressiva presença de regeneração natural em muitos dos talhões, “assemelhando-se a uma floresta natural em fase de evolução” (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2006). Os autores também relatam a contaminação dos plantios da FLONA de Irati, pelas mesmas espécies exóticas invasoras observadas na FLONA do Açungui, *Hovenia dulcis* (Uva do Japão) e *Pinus* sp., além de *Eriobrotrya japonica* (nêspera).

Hovenia dulcis é considerada uma espécie invasora (MAIEVES; RIBANI, 2013) pela facilidade de dispersão (SAMPAIO *et al.*, 2011). Por esse motivo, independente do objetivo de condução da floresta atual, a retirada de espécies exóticas e erradicação da *Hovenia dulcis* deveria ser uma das primeiras intervenções silviculturais.

Considerando o objetivo de conversão do plantio em FOM, deve-se pensar em uma estrutura de floresta natural, no formato J invertido, de modo que a cada desbaste, as árvores remanescentes devem variar entre todas as classes diamétricas, com maior densidade de árvores de pequenos diâmetros, favorecendo-se, portanto, as regenerações existentes e que por ocasião de novos desbastes venham a se estabelecer.

Selecionando trabalhos em diferentes regiões da FOM, o número de árvores de *Araucaria angustifolia* teve grande variação: 42,12 ind.ha⁻¹ (RODE *et al.*, 2010); 52,08 ind.ha⁻¹ (WATZLAWICK *et al.*, 2005); 97 ind.ha⁻¹ (WATZLAWICK *et al.*, 2013); e

149 ind.ha⁻¹ (SANQUETTA *et al.*, 2001). Assim, de maneira geral, pode-se notar que o número de árvores varia bastante de um local para outro, sendo difícil definir uma densidade apropriada. No entanto, é possível notar que são bem inferiores ao número atual de árvores de *Araucaria angustifolia* presentes na área em estudo.

Sendo evidente a condição de alta competição, a condução de desbaste é imprescindível para o desenvolvimento do plantio estabelecido na área. No entanto, recomenda-se que a retirada de árvores ocorra de forma gradual e seletiva, manejando parte das áreas plantadas para induzir maior regeneração natural desta espécie, quando o objetivo é a conversão em uma FOM. Além disso, devem remanescer árvores das maiores classes, com a precípua função de porta sementes, sendo então importante considerar a relação macho/fêmea para o estabelecimento de áreas de coleta de sementes.

Uma proposta de transformação de plantios de *Araucaria angustifolia* em FOM foi realizada por Santos *et al.* (2007), no Parque Estadual de Espigão Alto, RS. Os plantios com idade entre 24 e 34 anos foram descritos por sustentarem um dossel superior bastante danificado, com copas sobrepostas, desuniformes e pequenas, com pequena produção de pinhas e número reduzido de pinhões, resultando em baixa variabilidade genética. Os autores relataram que após realização do corte de *Araucaria angustifolia* danificadas e sua incorporação como material orgânico ao solo, resultou em aumento do tamanho das sementes dos pinheiros remanescentes.

3.1.1 Produtos florestais não madeireiros

Após a realização de desbastes, buscando alcançar a densidade de árvores mais próximas às condições naturais encontradas na Floresta Ombrófila Mista, propõe-se, como uma das possíveis alternativas, a exploração de recursos não madeireiros.

Assim, uma alternativa seria o manejo para coleta de pinhões, que nas regiões de ocorrência natural de *Araucaria angustifolia* é de significativa importância econômica e social, uma vez que muitas famílias têm no pinhão fonte de alimentação e parte de sua renda.

No entanto, para desenvolver essa atividade, é necessário propor estratégias para desenvolver e aprimorar técnicas adequadas de manejo, processamento e comercialização do pinhão, trabalho esse que pode ser incentivado com uma parceria entre organizações de produtores e coletores, pesquisadores e órgãos governamentais. Assim, pode-se gerar renda considerável, desde que utilizadas técnicas de manejo adequadas (DANNER *et al.*, 2012).

A produção de pinhões por hectare pode variar muito, sendo necessária a realização de pesquisas na área em estudo para estimar tal potencial. De acordo com Figueiredo Filho *et al.* (2011) é preciso enfatizar fatores como número de árvores por hectare, porcentagem de fêmeas e grau de evolução da floresta, os quais são determinantes na avaliação da produção de pinhões por hectare.

De acordo com Danner *et al.* (2012), plantios específicos para a produção de pinhões, podem apresentar potencial de produção alto, constituindo ferramenta eficaz para aumentar os plantios e diminuir a exploração das araucárias remanescentes, de modo a tornar o cultivo da espécie rentável e competitivo, desde que sejam utilizadas técnicas de manejo adequadas.

Alguns pontos devem ser salientados quando se sugere o plantio e/ou manejo de áreas já estabelecidas para a coleta de pinhões. A alternância anual na produção de sementes de *Araucaria angustifolia* (MANTOVANI *et al.*, 2004); época de produção das sementes, que de acordo com Carvalho (2003), quando plantadas isoladas, iniciam a produção de sementes entre dez e quinze anos, porém em povoamentos, a produção de sementes dá-se a partir de 20 anos. A indefinição do sexo das plantas geradas, conforme afirma Pinto (1982), a proporcionalidade dos sexos de *Araucaria angustifolia* em povoamentos plantados não obedece à relação 1:1, prevalecendo maior ocorrência de árvores masculinas. Maior porcentagem de indivíduos masculinos também foi verificada por Bandel e Gurgel (1967).

Deve também ser ressaltado que, com o incentivo do comércio do pinhão, há necessidade de definição de critérios para a exploração, servindo de base para a normatização de sistemas públicos de certificação da comercialização do pinhão, para evitar uma super-exploração dos remanescentes florestais e para não ocorrer aumento do risco de perda de biodiversidade.

Uma alternativa de produtos não madeireiros, que não envolve diretamente *Araucaria angustifolia*, mas sim a regeneração presente no sub-bosque, é o manejo do xaxim (*Dicksonia sellowiana* (Presl.) Hooker). Atenção especial deve ser dada aos

xaxins, já que é uma espécie ameaçada de extinção e esta funciona como um banco de germoplasma *in situ* dessa espécie, assim como de araucárias.

Não foi realizado um levantamento quanto à densidade de indivíduos de *Dicksonia sellowiana*, no entanto foi possível notar sua presença em grande quantidade no sub-bosque do reflorestamento em estudo.

Assim, sugere-se promover a implantação de projetos demonstrativos de manejo do xaxim, visando consolidar informações para o uso racional e desenvolvimento dessa espécie, proporcionando assim sua retirada da lista das ameaçadas de extinção. Antes disso, deve-se realizar censo de toda a população dessa espécie no local.

De acordo com trabalho realizado por Biondi *et al.* (2009), informações obtidas em pesquisa a respeito de intervenções silviculturais demonstraram a real possibilidade de manejar a *Dicksonia sellowiana* sob povoamento de *Araucaria angustifolia*, tanto para exploração do produto (xaxim) como para a conservação da espécie. Com base nisso, o manejo do xaxim pode ser uma opção adicional de manejo para os reflorestamentos da FLONA de Açungui.

Além disso, a identificação de produtos não madeireiros potenciais de outras espécies para a implantação de projetos demonstrativos é também uma boa alternativa.

3.1.2 Produtos florestais madeireiros

Com a realização de desbastes, buscando alcançar a densidade de árvores mais próximas às condições naturais encontradas na Floresta Ombrófila Mista, grande quantidade de madeira estará disponível para comercialização. Além disso, após o estabelecimento de uma nova estrutura, próxima às condições observadas em FOM, acredita-se no potencial de uso dos recursos madeireiros. Isso pode ser planejado tanto para as áreas de floresta nativa ou plantada, com potencial econômico para o manejo sustentável, por meio da geração de tecnologia e de modelos de manejo florestal para o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais.

Assim, a partir da estrutura diamétrica pode-se utilizar o conceito de floresta balanceada por meio da identificação de classes em que existe déficit ou superávit de

árvores, de modo a possibilitar a determinação da intensidade de corte, usando a área basal a ser deixada após os cortes parciais, o diâmetro máximo desejado e o quociente (q) de De Liocourt (1898). Segundo Campos *et al.* (1983), a análise da distribuição diamétrica, por meio desses parâmetros elimina a subjetividade do sistema de seleção, que consiste na remoção periódica de árvores por toda a área, pois determina a intensidade de corte a ser aplicada em cada classe de diâmetro.

Os talhões de florestas plantadas têm potencial para demonstrar inicialmente a viabilidade do manejo florestal, desenvolvimento de pesquisas para dar suporte à aplicação da legislação florestal e do manejo florestal, prioritariamente de espécies nativas, conduzindo-se o uso sustentável madeireiro de espécies de interesse econômico.

Conjuntamente a essas atividades, deve-se monitorar o impacto do manejo dos talhões de araucária no sub-bosque ao longo do tempo e também desenvolver projetos que possam criar condições propícias para o aumento da fauna local.

3.2 CONDUÇÃO PARA FINS DE PRODUÇÃO BASEADA EM ESTRUTURA DE PLANTIO

Sabendo-se que o espaço é fundamental para o desenvolvimento das árvores, e com base nas áreas de copa avaliadas, bem como a avaliação realizada com base na área de projeção de copa para um dado diâmetro médio, ou seja, o espaço vital necessário para o desenvolvimento das árvores (TABELA 1.5 - Capítulo I), pode-se verificar que para o diâmetro médio atual de 37 cm o número máximo de árvores remanescentes deveria ser de 198 árvores.ha⁻¹ considerando a opção de conduzir a floresta existente unicamente em uma floresta de produção madeireira.

Além disso, a condição de competição decorrente do elevado número de árvores está causando a estagnação do povoamento, sendo confirmado pela avaliação da distribuição do incremento ao longo do tronco, uma vez que o incremento médio de todas as árvores estabilizou a partir dos 30 cm, mostrando os efeitos da competição de um povoamento superestocado, ocorrendo até mesmo árvores dominantes, uma vez que foi verificada ausência de anéis crescimento nas regiões basais próximas a casca nos últimos anos (Capítulo III).

Para definir/estabelecer o cronograma de desbastes, e para atingir a densidade máxima de *Araucaria angustifolia* por hectare para dados diâmetros médios, deve-se observar as informações de incremento, condição fitossanitária (buscando a exploração antes da deterioração dos plantios), qualidade da madeira e condições de mercado. Ao manejar os povoamentos, deve-se estruturar um banco de germoplasma com o objetivo de assegurar a conservação *ex situ* e manter o material genético de *Araucaria angustifolia* existente na FLONA.

Assim, a partir da condição atual do povoamento, deveriam ser realizados desbastes progressivos, evitando-se abertura de grandes clareiras a fim de evitar uma exposição imediata do solo e continuidade da produção de madeira, e também para se monitorar a resposta das árvores à intervenção. Se o objetivo é a exploração de madeira e posterior corte raso para o estabelecimento de novos plantios de *Araucaria angustifolia*, sugere-se também o sistema em módulos. Os valores de lotação máxima de acordo com o diâmetro médio estão apresentados na TABELA 1.5 (Capítulo I).

A cada desbaste proposto/realizado, um novo diâmetro médio para o povoamento deverá ser definido, possibilitando assim definir o número máximo de árvores que devem permanecer para que o povoamento possua espaço vital ideal para o crescimento. Sendo assim, sabendo-se que o diâmetro médio atual é de 37 cm, na primeira intervenção de desbaste no máximo 198 árvores.ha⁻¹ deveriam permanecer (TABELA 1.5), conseqüentemente com desbaste de pelo menos 30%, visando favorecer o crescimento das árvores remanescentes.

Sabendo-se que árvores oriundas de regeneração apresentaram crescimento semelhante ao que foi verificado no início do povoamento, no entanto, dificilmente irão recuperar o crescimento após um desbaste tardio, assim como as árvores originais do plantio de menores diâmetros, e mesmo que reajam resultarão em madeiras heterogêneas ao longo do fuste, dificultando o processamento; e que árvores das maiores classes de tamanho possuem um sortimento de alto valor comercial, sugere-se como primeira intervenção, favorecer árvores das classes intermediárias (30 a 50 cm), uma vez que as mesmas tem potencial para recuperação do crescimento de forma a atingir dimensões capazes de propiciar retorno financeiro. Nesse programa de desbastes, até a total conversão, deve-se visar o aproveitamento da madeira e não sua perda por mortalidade. Além disso, não apenas as dimensões das árvores e sua classe social devem ser avaliadas, mas também a distribuição espacial das árvores

remanescentes após desbaste, para evitar grandes clareiras e concentração irregular da vegetação remanescente.

Assim, com o favorecimento das árvores da classe intermediária (30-50 cm), devido à abertura de clareiras, espera-se que o crescimento diamétrico atinja pelo menos o ritmo de crescimento das árvores da classe diamétrica superior (50-70 cm), uma vez que o potencial da espécie na área em estudo foi comprovado por árvores que em 65 anos atingiram mais de 65 cm de dap.

Com base na distribuição diamétrica do povoamento, retirando-se todos os indivíduos menores que 30 cm (61 indivíduos.ha⁻¹) e indivíduos acima de 50 cm (27 indivíduos.ha⁻¹), totalizando 88 ind.ha⁻¹ (31,4%), o diâmetro médio do povoamento passa a ser de aproximadamente 39 cm. Para esse dap médio o número máximo de indivíduos a permanecer seria de 179 (TABELA 1.5), de modo que, pelo menos, mais 20 indivíduos poderiam ser removidos ainda no primeiro desbaste. No entanto, o impacto da retirada de um grande número de indivíduos pode ser prejudicial, do ponto de vista de exposição do solo e impacto sobre a fauna local, bem como para as árvores remanescentes.

Sabendo-se que a área está localizada majoritariamente em terrenos acidentados, a exploração gradual e em módulos visa evitar a erosão, sugerindo-se, portanto, que a área seja dividida em unidades de produção anual (UPA).

Assim, a ideia seria manter um povoamento produtivo e rentável, enquanto se aguarda que cada UPA atinja seu período de corte raso, capaz de ainda incrementar valor na produção. Dessa forma, não é recomendado que o primeiro desbaste seja efetuado com intensidade inicial maior do que a recomendada.

A partir de um primeiro desbaste, será necessário monitorar o crescimento das árvores remanescentes, quando então novas propostas de desbastes deverão ser apresentadas, de acordo com a resposta observada. Assim, quando as copas voltarem a se “tocar” uma nova proposta de desbaste deverá ser realizada.

Vários cenários podem ser propostos para o manejo da área, no entanto deve ser realizado de acordo com os objetivos almejados, e respeitando o sistema em UPAS, de modo a minimizar impacto nas áreas, especialmente nas de relevo mais acidentado.

Junto aos ganhos em volume comercializável, sugere-se a reforma do povoamento, fazendo-se novos plantios, em módulos. Durante esse período de reforma ainda haverá oferta de madeira das áreas/módulos que permanecem com

indivíduos plantados em 1946, até que um novo ciclo, produzindo madeira em cada UPA, possa ser atingido.

Após estabelecimento de novos povoamentos, e com base na aplicação do método para interpretação do espaço disponível para as árvores do povoamento, em função do dap e do diâmetro de copa, é apropriado que o povoamento sofra o primeiro desbaste quando atingir dap médio de 9 cm, o que corresponde a aproximadamente 6 anos, caso o espaçamento inicial seja 2 m x 2 m, como foi implantado em 1946. No entanto, sabendo-se que o fechamento das copas se deu muito cedo, devido a grande densidade de indivíduos, um espaçamento maior seria o mais recomendável.

Quanto a época para a realização do primeiro desbaste, sabendo-se que o crescimento de *Araucaria angustifolia* no povoamento em estudo pôde ser diferenciado em grupos distintos, e que até os 20 anos as árvores atualmente nas classes diamétricas menores (10-30 cm) e intermediárias (30-50 cm), possuíam crescimento estatisticamente iguais, porque ainda não haviam se diferenciado, sugere-se que a aplicação de um desbaste nesse período ainda poderia ser bem sucedido.

No entanto, sabendo-se que a competição e a realização de desbaste exercem alteração na densidade da madeira, e que pode haver diferenciação do padrão de crescimento ao longo da vida das árvores, decorrente de superação da competição e intervenções de desbaste, não é possível prever a resposta delas em condições de alta competição por um longo período. E, apesar da competição aparentar não ter exercido influência diferenciada entre classes de tamanho quanto à densidade da madeira, isso não garante que características importantes, relacionadas à estabilidade da madeira, não tenham sido diretamente afetadas pela falta de controle da competição.

Assim, o entendimento da dinâmica de crescimento em um povoamento superestocado de *Araucaria angustifolia* poderá ser complementado com monitoramento da resposta de alterações de tamanho de copa e fuste nas árvores remanescentes após um novo desbaste nesse povoamento em estudo. Tal monitoramento deve estar acompanhado da avaliação das condições da vizinhança entre árvores, uma vez que índices de competição captaram alterações do ritmo de crescimento, sendo evidente no período pós-desbaste, de modo que a análise retrospectiva com base nas condições da vizinhança entre árvores descrevem boa

parte dos seus crescimentos, ainda mais quando considerada a distância entre a árvore competidora e a árvore objetivo.

Priorizar a implantação de povoamentos de *Araucaria angustifolia* em diferentes espaçamentos e também em consórcios com outras espécies nativas e estabelecer indicadores que permitam avaliar a efetividade do manejo e da proteção da FOM e ecossistema associado, são atividades necessárias. Assim, pode-se desenvolver e programar novas técnicas para o manejo das florestas plantadas com espécies nativas, valendo-se de tecnologias apropriadas de manejo dessas espécies.

Todas as atividades previstas para o manejo das áreas de florestas plantadas deverão ser precedidas de um cronograma de execução com a especificação das formas de implantação, controle e monitoramento. Dessa forma, a pesquisa visa dar suporte às mudanças na legislação ambiental das espécies vegetais nativas ameaçadas de extinção.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Seja visando à restauração da área em Floresta Ombrófila Mista (FOM) ou o manejo de áreas com florestas de produção, será necessário que as Florestas Nacionais disponham de um plano de manejo, uso e conservação, por meio do qual sejam definidos os objetivos específicos da unidade, seu zoneamento e utilização. O uso sustentável das Florestas Nacionais deve ter como primeiro objetivo a manutenção do equilíbrio ambiental, associado ao desenvolvimento social e econômico regional.

Princípios que se baseiam na divisão da área manejada em unidades, a fim de preservar o meio ambiente sem inviabilizar economicamente o empreendimento, compatibilizando o fator de capacidade de regeneração da floresta e a sua exploração, devem ser adotados. Assim, a exploração em módulos, tendo por parâmetro a capacidade de regeneração da floresta, tende a ser efetiva no controle legal da degradação ambiental.

Sugere-se que a área seja dividida em unidades de produção anual e que diferentes alternativas de desbaste sejam realizadas e monitoradas. Tal monitoramento deve estar acompanhado da avaliação das condições da vizinhança entre árvores, uma vez que índices de competição captaram alterações do ritmo de crescimento.

A região apresenta aptidão florestal, com terreno muito acidentado, e por esse motivo, deve-se priorizar a manutenção de florestas. Aliado a isso, a implantação de povoamentos de *Araucaria angustifolia* em diferentes espaçamentos e também em consórcios com outras espécies nativas possibilitarão estabelecer indicadores para avaliar a efetividade do manejo e da proteção da FOM e ecossistema associado, de modo a preencher as lacunas existentes quanto ao desenvolvimento da floresta e, futuramente, dar suporte às mudanças na legislação ambiental no que se refere ao manejo de *Araucaria angustifolia*.

Muitas informações foram obtidas com relação ao entendimento da dinâmica de crescimento de *Araucaria angustifolia* em condições de alta competição, com a identificação de lacunas que ainda devem ser preenchidas e do grande potencial de manejo da espécie.

REFERÊNCIAS

- AHEC - American Hardwood Export Council. **U.S. forests: a model for the world**. August, 2010. Disponível em: <<http://www.americanhardwood.org>>. Acesso em: 03 fev. 2015.
- BANDEL, G.; GURGEL, J.A.A. Proporção do sexo em *Araucaria angustifolia*. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 6, p. 209-220, 1967.
- BIONDI, D.; LEAL, L.; MARTINI, A.; NATAL, C. M. Caracterização dendrométrica de *Dicksonia sellowiana* Hook. em povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 4, p. 453-459, 2009.
- BRASIL. **Portaria IBAMA nº 37-N**, de 3 de abril de 1992. Reconhece como Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção a relação que se apresenta. Brasília, 1992.
- BRASIL. **Lei Nº 9.985**, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. Diário Oficial [da] da República Federativa do Brasil, Brasília, 2000.
- CAMPOS, J. C. C.; RIBEIRO, J. C., COUTO, L. Emprego da distribuição diamétrica na determinação da intensidade de corte em matas naturais submetidas ao sistema de seleção. **Árvore**, Viçosa, v. 7, n. 2, p. 110-122, 1983.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, 2003. 1039 p.
- DANNER, M. A.; ZANETTE, F.; RIBEIRO, J. Z. O cultivo da araucária para produção de pinhões como ferramenta para a conservação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 441-451, 2012.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A.N.; WATZLAWICK, L.F. 2006. **Inventário das florestas naturais da Floresta Nacional de Irati** – Estado do Paraná. Irati: UNICENTRO. 188 p.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; ORELLANA, E.; NASCIMENTO, F.; DIAS, A. N.; INOUE, M. T. Produção de sementes de *Araucaria angustifolia* em plantio e em floresta natural no centro-sul do estado do Paraná, **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 155-162, 2011.
- MAIEVES, H. A.; RIBANI, R. H. Reconhecimento de exemplares de *Hovenia dulcis* Thunberg, na arborização urbana de Curitiba – PR. **Soc. Bras. de Arborização Urbana**, Piracicaba, SP, v. 8, n. 1, p. 17-26, 2013.
- MANTOVANI, A.; MORELLATO, L. P. C.; REIS, M. S. Fenologia reprodutiva e produção de sementes em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 787-796, 2004.
- MORO, R. S.; PEREIRA, T. K. Evaluating an old sustainable national forest in south Brazil to decide their conservation status. In: IUFRO Landscape Ecology International Conference. 2010, Bragança, Portugal. **Anais...** Bragança, 2010. p. 21-27.

PARANÁ. **Ordem de Serviço nº 47**: disciplinando o uso do xaxim através da exigência do Plano de Manejo. Curitiba, 1992.

PEREIRA, T. K.; MORO, R. S. Estágios de regeneração de sub-bosque em reflorestamentos de Araucária na FLONA do Açungui-PR. In: Congresso de Meio Ambiente da AUGM, IV. 2009, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2009, 10 p. (ISSN 1808-7639)

PIMENTEL, R. A.; VENIZIANI JUNIOR, J. C. T.; MAIA, N. S. Avaliação da Adequação do Uso do Solo ao Potencial Natural: A Erosão na Bacia do Córrego Barra Bonita. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 4., 2012, Jahu, São Paulo. **Anais...** Jahu: FATEC, 2012. p. 16-28.

PINTO, S. A. A. Influência da dioícia no diâmetro e na altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. e suas implicações na formação de áreas de produção de sementes na região de Quedas do Iguaçu - Estado do Paraná. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 433-436, 1982.

PIRES, P. T. **Alternativas jurídicas para o uso sustentável das unidades de conservação no bioma florestal com araucária**. Jus Navigandi, Teresina, v. 9, n. 264, 2004. Disponível em: <<http://jus.com.br/artigos/5012>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

ROCHA, J. S. M. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: UFSM, 1997. 446p.

RODE, R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; GALVÃO, F.; MACHADO, S. A. Estrutura horizontal da comunidade arbórea sob um povoamento com *Araucaria angustifolia* e uma Floresta Ombrófila Mista. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 347-361, 2010.

SAMPAIO, A. C. F.; ECKER, A. E. A.; MARANGONI, C. J. M.; FIORESE, L. M. R.; SORDI, E. A. Espécies exóticas invasoras na arborização de vias públicas de três bairros de Campo Mourão - PR. **Campo Digit@l**, v. 6, n. 1, p. 31-43, 2011.

SANQUETTA, C. R.; PIZZATTO, W.; PÉLLICO NETTO, S.; EISFELD, R. L.; FIGUEIREDO FILHO, A. Dinâmica da estrutura horizontal de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Centro-Sul do Paraná. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 3, n. 1, 2001.

SANTOS, J. R. B.; FIGUEIREDO, J. C.; BERNI, A. L. H. A transformação de uma floresta homogênea de *Araucaria angustifolia* em uma floresta heterogênea. **Rev. Bras. Agroecologia**, v. 2, n. 1, 2007.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; VALÉRIO, A. F.; SILVESTRE, R. Caracterização da composição florística e estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, no município de General Carneiro (PR). **Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 1, n. 2, p. 229-237, 2005.

WATZLAWICK, L. F.; GARDIN, E.; LONGHI, S. J. Florística, estrutura e distribuição espacial em fragmento de Floresta Ombrófila Mista em São Francisco de Paula (RS). **Ambiência**, Guarapuava (PR), v. 9, n. 1, p. 113-128, 2013.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 438 p.